مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۶ شماره ۳، صفحه ۲۳۰-۲۱۸ (۱۴۰۰)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJWPR.2021.352727.1651
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350913.1400.36.3.5.7

تأثیر شرایط پرس بر خواص فیزیکی و مکانیکی صنوبر تیمار شده با فرایند گرمآبی- مکانیکی

رضا حاجی‌حسنی

- استادیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران،
پست‌الکترونیک: Reza.Hajihassani@gmail.com

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: خرداد ۱۴۰۰

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تیمار گرمآبی- مکانیکی و نیز شرایط پرس بر خواص فیزیکی و مکانیکی چوب صنوبر (*Populus deltoides*) انجام شد. در این بررسی تیمار گرمآبی در آب جوش و برای مدت زمان صفر، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه انجام گردید. سپس تیمار فشرده‌سازی با استفاده از پرس گرم در دو مرحله الف- پرس تماسی و ب- پرس فشاری، برای مدت زمان پرس ۶۰ دقیقه (۳۰ دقیقه پرس تماسی و ۳۰ دقیقه پرس فشاری) و ۹۰ دقیقه (۳۰ دقیقه پرس تماسی و ۶۰ دقیقه پرس فشاری) انجام شد. همچنین از سه دمای پرس ۱۶۰، ۱۸۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد برای فشرده‌سازی استفاده شد. میزان متراکم‌سازی (ضریب فشردگی) چوب صنوبر ۴۰ درصد و میزان فشار پرس ۵۰-۵۵ بار بود. آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی شامل اندازه‌گیری دانسیته، میزان بازگشت فنری (Springback) بلافاصله بعد از پرس، جذب آب و واکشیدگی در راستای فشردگی، مقاومت خمشی (خمش سه نقطه‌ای) و مدول الاستیسیته بودند که بر روی نمونه‌ها انجام گردید. نتایج به‌دست‌آمده نیز با استفاده از طرح آماری کاملاً تصادفی متعادل مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. نتایج نشان دادند که فرایند گرمآبی- مکانیکی سبب بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌ها می‌گردد؛ به‌طوری‌که این فرایند سبب کاهش بازگشت فنری پس از پرس، کاهش جذب آب و واکشیدگی در راستای فشردگی و نیز افزایش مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: چوب صنوبر، تیمار گرمآبی- مکانیکی، فشرده‌سازی، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی.

مقدمه

کاربرد روش‌های نوین اصلاح چوب با اثرهای زیست‌محیطی کم می‌تواند سبب افزایش رقابت بین مصالح چوبی گردد. این روش‌ها دارای مزایای متعددی می‌باشند که ازجمله می‌توان به استفاده از مواد بومی به‌جای واردات چوب خام، ایجاد ارزش افزوده برای منابع چوبی بومی، سودآوری و ایجاد درآمد منطقه‌ای، اشتغال‌زایی و ... اشاره نمود. یکی از روش‌های اصلاح چوب اصلاح مکانیکی می‌باشد که معمولاً برای گونه‌های چوبی سبک مورد استفاده قرار می‌گیرد. افزایش دانسیته چوب با استفاده از فرایند فشرده‌سازی اغلب خواص مکانیکی چوب را بهبود می‌بخشد و دامنه کاربرد آن را گسترش می‌دهد. اما چوب فشرده‌سازی شده دارای پایداری ابعادی کم بوده و تمایل به بازگشت به حالت اولیه دارد. برای کاهش و یا مرتفع نمودن این معضل می‌توان از سایر روش‌های اصلاح چوب در ترکیب با فرایند فشرده‌سازی استفاده نمود که تحقیقات متعددی در این مورد انجام شده است. هدف کلی تحقیقات انجام شده ایجاد پایداری ابعادی در چوب فشرده شده می‌باشد که با به‌کارگیری تکنیک‌ها و

روش‌های متنوع انجام شده است.

در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای در زمینه تکنیک‌های مختلف اصلاحی ازجمله اصلاح آبی، اصلاح حرارتی، اصلاح آنزیمی، اصلاح مکانیکی، اصلاح شیمیایی و یا ترکیبی از آنها انجام شده است. در این راستا Diouf و همکاران (۲۰۱۱) اثر تیمار حرارتی- بخار- مکانیکی (THM) بر رنگ، زبری، رطوبت‌پذیری و ترکیبات شیمیایی لایه‌های گرفته شده از صنوبر لرزان و صنوبر هیبرید را در چهار دمای ۱۶۰، ۱۸۰، ۲۰۰ و ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد بررسی نمودند. نتایج بیانگر آن بود که با افزایش دما رنگ لایه‌ها تیره‌تر می‌شود و زبری سطح در دمای ۱۶۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. رطوبت‌پذیری لایه‌ها نیز کاهش یافته ولی اختلاف معنی‌داری بین دماهای مختلف مشاهده نشد. نتایج ATR-FTIR و XPS تغییرات شیمیایی سطح لایه‌ها را در اثر تیمار THM و در دمای بالاتر از ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد تأیید نمود.

در یک مطالعه Mohebby و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر تیمار ترکیبی گرمابی- مکانیکی را بر چوب صنوبر مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق برای تیمار گرمابی از سه دما (۱۲۰،۱۵۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد) و سه زمان (صفر، ۳۰ و ۹۰ دقیقه) و نیز برای فشرده‌سازی از دو دمای پرس (۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان پرس ۲۰ دقیقه استفاده شد. نتایج نشان دادند که افزایش دمای تیمار و نیز دمای پرس سبب کاهش بازگشت فنری نمونه‌ها گردید، ولی دمای تیمار بسیار مؤثرتر از دمای پرس بود. آنان دلیل این امر را تغییر ساختار شیمیایی چوب (تخریب همی‌سلولزها، افزایش کریستالیته سلولز و افزایش پیوند عرضی در لیگنین) و آبگریز شدن آن بیان نمودند. همچنین نتایج بیانگر کاهش واکشیدگی ضخامت یا افزایش اثر ضد واکشیدگی (ASE) و افزایش ثبات ابعادی در اثر افزایش دمای تیمار بود. حذف همی‌سلولزها و بلوکه شدن گروه‌های هیدروکسیل در سلولز دلیل اصلی این موضوع بیان گردید. به‌علاوه این بررسی افزایش مقاومت‌های مکانیکی (مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته، مقاومت به ضربه و سختی) را در اثر فرایند گرمابی- مکانیکی نشان داد، به‌طوری‌که بیشترین مقاومت‌ها مربوط به دمای تیمار ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد بوده و با افزایش دما مقدار مقاومت‌ها کاهش یافت. دلیل افزایش مقاومت‌ها به علت افزایش دانسیته می‌باشد، ولی دلیل کاهش مقاومت‌ها با افزایش دمای تیمار به علت ترد و شکننده شدن لیگنین و نیز کاهش طول زنجیره سلولز می‌باشد. آنان بهترین دمای تیمار گرمابی را ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند.

Saari و همکاران (۲۰۱۴) خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌خرده‌چوب ساخته شده از ذرات بخارزنی شده تنه نخل روغنی بدون استفاده از چسب را مورد بررسی قرار دادند. کیفیت اتصالات نیز با استفاده از روش SEM بررسی گردید. بر اساس این تحقیق ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها در اثر تیمار بخار مواد اولیه افزایش می‌یابد. بالاترین میزان MOR مربوط به نمونه‌های بخارزنی شده در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۳۰ دقیقه بودند. نتایج نشان داد که افزایش زمان بخارزنی بیشتر از ۳۰ دقیقه باعث کاهش ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌ها می‌گردد.

Hajihassani در سال ۲۰۱۷ طی تحقیقاتی نشان داد که به‌کارگیری تیمار فشرده‌سازی همراه با تیمار بخارگرمایی نه‌تنها سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی چوب می‌گردد بلکه ضعف‌های مکانیکی ایجاد شده در اثر تیمار بخارگرمایی را نیز برطرف نموده و سبب بهبود ویژگی‌های مکانیکی می‌شود.

Hakkou و همکاران (۲۰۰۵) طی بررسی‌هایی نشان دادند که در اثر اصلاح گرمایی در دمای ۱۶۰-۱۳۰ درجه سانتی‌گراد، آب‌گریزی چوب افزایش می‌یابد. آنان با آزمایش‌های متعددی نشان دادند که واکنش‌های تخریب و تولید مواد استخراجی منشأ ایجاد این ویژگی نیستند، بلکه با استفاده از آنالیزهای FTIR و NMR اعلام کردند که اصلاح خاصیت نم‌پذیری در طی تیمار گرمایی می‌تواند در اثر اصلاح آرایش زیست پلیمرهای چوب (ترکیبات پلی‌ساکاریدهای چوب) به دلیل از دست دادن آب و یا به احتمال زیاد پلاستیکی شدن لیگنین باشد.

Lam و همکاران (۲۰۱۳) در یک بررسی نشان دادند که هیدرولیز همی‌سلولزها و کندانس شدن لیگنین در اثر تیمار

بخار سبب افزایش خاصیت ارتجاعی و کاهش سختی ذرات چوب دوگلاس‌فر می‌گردد. به‌طوری‌که بهبود ثبات ابعادی و سختی ذرات تیمار شده با بخار به دلیل نقش اتصال‌دهندگی مونوساکاریدهای آزاد شده از چوب دوگلاس‌فر در طول فرایند گرمآبی می‌باشد.

Gong و همکاران (۲۰۱۰) اثر فشرده‌سازی و تیمار حرارتی را بر روی چوب صنوبر مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که چوب فشرده شده‌ای که تحت تیمار حرارتی در دمای ۲۱۰– ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته، دارای دانسیته کمتری از چوب فشرده بدون تیمار حرارتی می‌باشد؛ باوجوداین متوسط دانسیته هر دو بالاتر از چوب فشرده نشده بدون تیمار حرارتی بود. واکشیدگی ضخامت چوب فشرده شده بعد از تیمار حرارتی از ۳۲٪ به ۹٪ کاهش یافته و سختی و مقاومت به کشش میخ نیز به‌ترتیب دارای کاهش ۳۳ و ۳۷ درصدی در مقایسه با چوب فشرده شده بدون تیمار حرارتی گردید. باوجوداین دو ویژگی اخیر به‌ترتیب به میزان ۴۳ و ۶ درصد بیشتر از چوب فشرده نشده بدون تیمار حرارتی بود. تیمار حرارتی دارای اثر منفی بر روی MOE بوده و باعث کاهش آن به مقدار ۲۴ و ۳۲ درصد به‌ترتیب در چوب فشرده شده و فشرده نشده گردید.

Welzbacher و همکاران (۲۰۰۸) نیز طی مطالعاتی نمونه‌های تهیه شده از کاج نروژ را با ترکیب ۴ سطح دمای پرس و ۴ سطح زمان پرس فشرده‌سازی نموده و بعد نمونه‌ها را با فرایند تیمار حرارتی در روغن با ۳ سطح دمایی و ۲ زمان (۲ و ۴ ساعت) تیمار کردند. آنان اظهار داشتند که ابعاد فشرده شده در نمونه‌هایی که تحت تیمار روغن در دمای بالاتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته‌اند تقریباً به‌طور کامل تثبیت شده است. Anshari و همکاران (۲۰۱۱) رفتار واکشیدگی و خواص مکانیکی سدر ژاپنی فشرده شده با ۵ ضریب فشردگی صفر، ۳۳، ۵۰، ۶۷ و ۷۰ درصد را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که حداکثر تنش واکشیدگی در جهت شعاعی، به مقدار ۱۱/۷ درصد و مربوط به ضریب فشردگی ۶۷٪ و رطوبت اولیه ۶٪ بوده است. اما در جهت مماسی با افزایش ضریب فشردگی، تنش واکشیدگی کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که مقدار تنش واکشیدگی ۱/۸۶، ۱/۶۹ و ۱/۳۵ درصد به‌ترتیب مربوط به ضرایب واکشیدگی ۳۳، ۵۰ و ۶۷ درصد می‌باشد. در ارتباط با دانسیته نیز با افزایش ضریب فشردگی از ۳۳٪ به ۵۰، ۶۷ و ۷۰ درصد، دانسیته به‌ترتیب به مقدار ۲۵، ۷۵، ۱۷۵ و ۲۶۱ درصد در مقایسه با دانسیته اولیه (۳۲۲ Kg/m^3) افزایش یافت.

Bekhta و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی که به بررسی ویژگی‌های تخته لایه ساخته شده از لایه‌های فشرده شده پرداخته بودند اعلام کردند که فشرده‌سازی لایه‌ها بر روی تمامی عملکردهای فرایندهای تکنولوژیکی تولید تخته لایه تأثیرگذار می‌باشد، به‌طوری‌که باعث کاهش زمان، دما و فشار پرس و نیز کاهش انتشار چسب (به دلیل نفوذ کمتر چسب به درون حفره‌های چوب فشرده شده) می‌گردد. به‌علاوه ویژگی‌های مکانیکی و کیفیت ظاهری چوب فشرده شده نیز بهبود می‌یابد.

در فرایند فشرده‌سازی، کاهش یا کنترل بازگشت فنری و بهبود پایداری ابعادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد، به‌نحوی‌که در بیشتر تحقیقات انجام شده با این موضوع مواجه بوده‌اند. اما تاکنون روش مناسبی که بتواند میزان بازگشت فنری را به‌طور مؤثر کاهش داده و یا کنترل نماید و سبب پایداری ابعادی گردد ارائه نشده است. ازاین‌رو این تحقیق سعی دارد با به‌کارگیری شرایط مناسب پرس در مرحله فشرده‌سازی فرایند اصلاح گرمآبی– مکانیکی، ضمن بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی چوب صنوبر، به ارزیابی تأثیر روش نوین استفاده شده بر کنترل بازگشت فنری و پایداری ابعادی نیز بپردازد.

مواد و روش‌ها

در این بررسی عوامل ثابت شامل نوع چوب (*Populus deltoides*)، نوع تیمار (گرمابی– مکانیکی)، دمای تیمار گرمابی (نقطه جوش)، فشار پرس (۵۰–۵۵ بار) و ضریب فشرده‌سازی (۴۰ درصد) می‌باشد. عوامل متغیر نیز شامل زمان تیمار گرمابی (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه)، دمای پرس (۱۶۰، ۱۸۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان پرس [۶۰ دقیقه (۳۰ دقیقه

پرس تماسی و ۳۰ دقیقه پرس فشاری) و ۹۰ دقیقه (۳۰ دقیقه پرس تماسی و ۶۰ دقیقه پرس فشاری)] می‌باشد که در کل ۱۸ تیمار به‌دست می‌آید که با در نظر گرفتن ۳ تکرار برای هر تیمار، درمجموع ۵۴ نمونه آزمایشگاهی تهیه شد.

مراحل تهیه نمونه‌های آزمونی

۱- تهیه و آماده‌سازی چوب صنوبر برای تیمار گرمآبی- مکانیکی: ماده اولیه مورد نظر از گونه صنوبر (*Populus deltoides*) تهیه گردید. صنوبرها ابتدا تبدیل به الوار و در مرحله بعد به قطعاتی با ابعاد ۴/۲×۷×۴۵ (شعاعی×مماسی×طولی) سانتیمتر مکعب تبدیل شدند.

۲- تیمار گرمآبی نمونه‌ها: برای تیمار گرمآبی نمونه‌های تهیه شده، از یک مخزن تیمار آب گرم استفاده گردید که دمای آن تا نقطه‌جوش قابل تنظیم می‌باشد. در این بررسی از سه زمان تیمار گرمآبی صفر، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه در آب‌جوش استفاده شد. یادآوری می‌شود که تیمار گرمآبی صفر، غوطه‌وری در آب با دمای معمولی بوده است.

۳- تیمار مکانیکی (فشرده‌سازی): نمونه‌های تیمار شده با فرایند گرمآبی بلافاصله به پرس گرم آزمایشگاهی از نوع Buerkle L 100 انتقال داده شدند تا تحت تیمار فشرده‌سازی قرار گیرند. تیمار فشرده‌سازی با استفاده از پرس گرم در دو مرحله الف- پرس تماسی (به‌منظور انتقال حرارت، یکسان‌سازی دما در قسمت مغز و سطح نمونه‌ها و خروج رطوبت) و ب- پرس فشاری برای مدت زمان پرس ۶۰ دقیقه (۳۰ دقیقه پرس تماسی و ۳۰ دقیقه پرس فشاری) و ۹۰ دقیقه (۳۰ دقیقه پرس تماسی و ۶۰ دقیقه پرس فشاری) انجام شد. همچنین از سه دمای پرس ۱۶۰، ۱۸۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد برای فشرده‌سازی استفاده شد. یادآوری می‌شود که فشرده‌سازی نمونه‌ها در راستای ضخامت (جهت شعاعی) و به‌میزان ۴۰ درصد بوده است. ضخامت نهایی نمونه‌ها به مقدار ۲/۵ سانتیمتر بود که توسط شابلون کنترل گردید.

۴- اندازه‌گیری میزان بازگشت فنری (Springback): میزان برگشت به حالت اول نمونه‌ها بعد از عملیات فشرده‌سازی و بلافاصله پس از پرس با استفاده از رابطه زیر مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$Sp = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \times 100$$

Sp= بازگشت فنری (%)

h_1= ضخامت نهایی در نظر گرفته شده در زیر پرس (cm)

h_2= ضخامت پس از خروج از پرس (cm)

۵- آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی: انجام آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی بر روی نمونه‌های شاهد و تیمار شده با فرایند گرمآبی- مکانیکی بر اساس استاندارد D143-09 ASTM انجام شد. آزمون‌های مورد ارزیابی شامل اندازه‌گیری دانسیته، میزان بازگشت فنری بلافاصله پس از پرس، جذب آب و واکشیدگی در راستای فشردگی (شعاعی) ۲ و ۲۴ ساعت، مقاومت خمشی (خمش سه نقطه‌ای) و مدول الاستیسیته بودند. آزمون مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته با استفاده از دستگاه INSTRON-1186 و با سرعت بارگذاری ۲ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد. برای تجزیه‌وتحلیل آماری نیز از آزمون فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل با استفاده از نرم‌افزار spss انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج

جدول ۱ خلاصه تجزیه واریانس مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی و اثرهای مستقل و متقابل زمان تیمار گرمآبی، زمان پرس و دمای پرس را در سطح آماری ۹۹ درصد نشان می‌دهد.

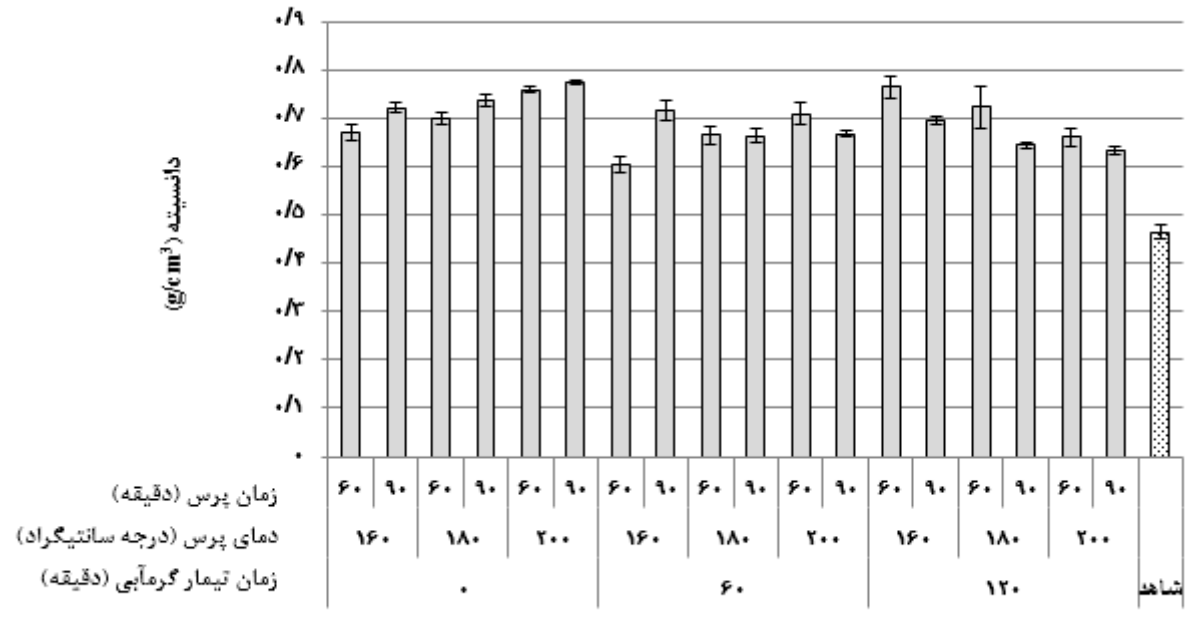
دانسیته

یکی از شاخص‌ترین اثرهای فشرده‌سازی افزایش دانسیته می‌باشد. شکل ۱ تغییرات دانسیته نمونه‌ها در شرایط مختلف تیمار را نشان می‌دهد، به‌طوری‌که دانسیته کلیه نمونه‌ها در شرایط مختلف تیمار گرمآبی- مکانیکی نسبت به نمونه شاهد افزایش داشته است.

جدول ۱- خلاصه تجزیه واریانس خواص فیزیکی و مکانیکی

منبع تغییرات	مقاومت خمشی (Mpa)	مدول خمشی (Mpa)	بازگشت فنری پس از پرس (٪)	جذب آب (٪)		واکشیدگی شعاعی (٪)	
				۲ ساعت	۲۴ ساعت	۲ ساعت	۲۴ ساعت
زمان تیمار گرمآبی	✻۰/۰۱۰	✻۰/۰۰۳	✻ ۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۰	✻۰/۰۰۰	✻۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۰
زمان پرس	ns۰/۳۳۰	ns۰/۰۹۸	✻ ۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۸	✻✻۰/۰۳۵	✻۰/۰۰۰	✻۰/۰۰۰
دمای پرس	ns۰/۴۴۸	✻۰/۰۰۱	✻ ۰/۰۰۰	✻۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۰
زمان تیمار گرمآبی × زمان پرس	ns۰/۹۴۹	ns۰/۹۲۵	✻ ۰/۰۰۰	✻۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۱
زمان تیمار گرمآبی× دمای پرس	ns۰/۹۶۳	ns۰/۸۰۴	✻ ۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۰
زمان پرس × دمای پرس	ns۰/۹۸۶	ns۰/۹۲۱	✻ ۰/۰۰۰	✻۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۰
زمان تیمار گرمآبی × زمان پرس × دمای پرس	ns۰/۹۹۵	ns۰/۹۳۵	✻ ۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۰	✻ ۰/۰۰۰

✻: معنی‌دار در سطح ۱ درصد ✻✻: معنی‌دار در سطح ۵ درصد ns: معنی‌دار نمی‌باشد.

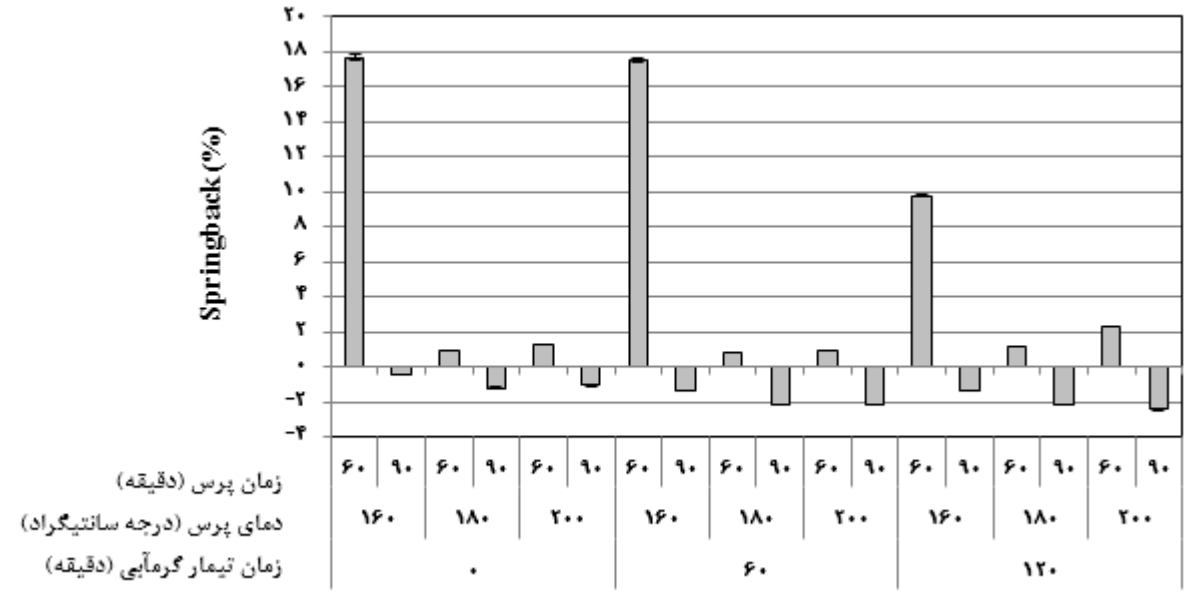


شکل ۱- تغییرات دانسیته نمونه‌های چوبی در شرایط مختلف گرمآبی- مکانیکی

نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند که در تیمار گرمآبی– مکانیکی، فقط فاکتور زمان تیمار گرمآبی دارای اثر معنی‌داری بر دانسیته بوده است. بالاترین میزان دانسیته مربوط به نمونه‌های با شرایط بدون تیمار گرمآبی، دمای پرس ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس ۹۰ دقیقه و به‌میزان ۰/۷۷ g/cm3 می‌باشد. کمترین میزان دانسیته نیز مربوط به نمونه‌های با شرایط زمان تیمار گرمآبی ۶۰ دقیقه، دمای پرس ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس ۶۰ دقیقه و به‌میزان ۰/۶ g/cm3 است. بررسی مقایسه میانگین‌ها نیز نشان دادند که بیشترین مقدار دانسیته در شرایط زمان تیمار گرمآبی صفر دقیقه و دمای پرس ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد بوده است و کمترین میزان دانسیته مربوط به شرایط زمان تیمار گرمآبی ۶۰ دقیقه و دمای پرس ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

بازگشت فنری (Springback)

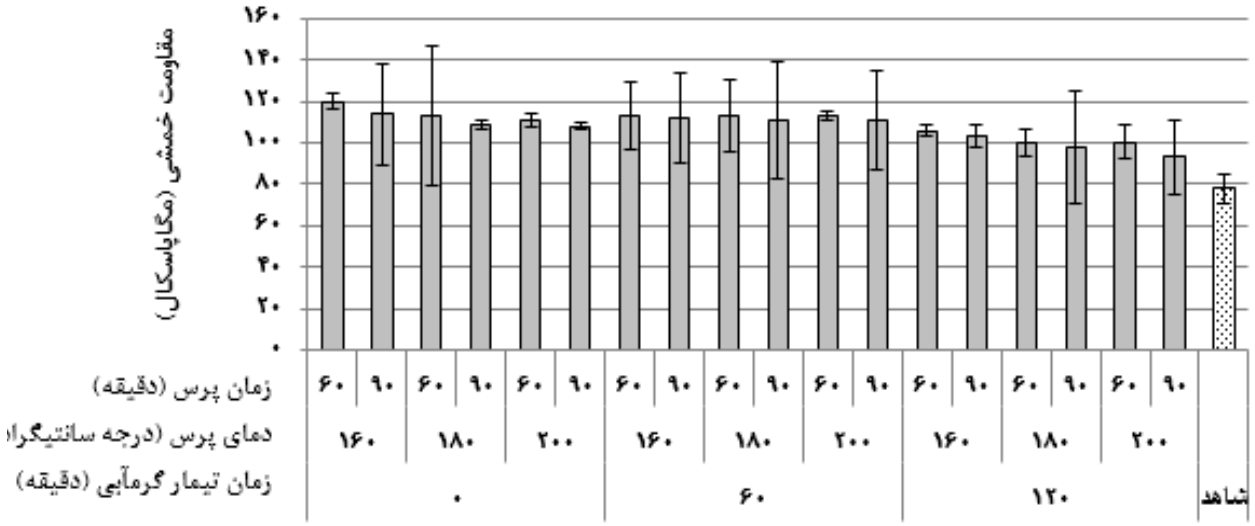
یکی از اثرهای مهم فشرده‌سازی، تمایل به بازگشت فنری نمونه چوبی می‌باشد. در این بررسی سعی شده است تا با تغییر شرایط تیمار، این فاکتور را به حداقل برساند؛ ازاین‌رو میزان بازگشت فنری پس از پرس مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان دادند که کلیه شرایط تیمار دارای اثر معنی‌دار بر میزان بازگشت فنری پس از پرس می‌باشد. مقایسه تیمارها در شکل ۲ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار بازگشت فنری در هر سه زمان تیمار گرمآبی صفر، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه، مربوط به دمای پرس ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس ۶۰ دقیقه می‌باشد؛ این در حالی است که زمان تیمار گرمآبی صفر، دمای پرس ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس ۶۰ دقیقه نیز دارای بیشترین مقدار بازگشت فنری پس از پرس می‌باشد. دیگر نکته قابل‌توجه در شکل ۲ آن است که مقدار بازگشت فنری در اغلب زمان‌های پرس ۹۰ دقیقه روند منفی داشته است. مقایسه میانگین‌های بازگشت فنری پس از پرس نشان دادند که بیشترین میزان بازگشت فنری مربوط به شرایط زمان تیمار گرمآبی صفر دقیقه و دمای پرس ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد بوده است و کمترین میزان بازگشت فنری مربوط به زمان تیمار گرمآبی ۱۲۰ دقیقه و دمای پرس ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



شکل ۲– بازگشت فنری نمونه‌ها پس از پرس

مقاومت خمشی و مدول خمشی

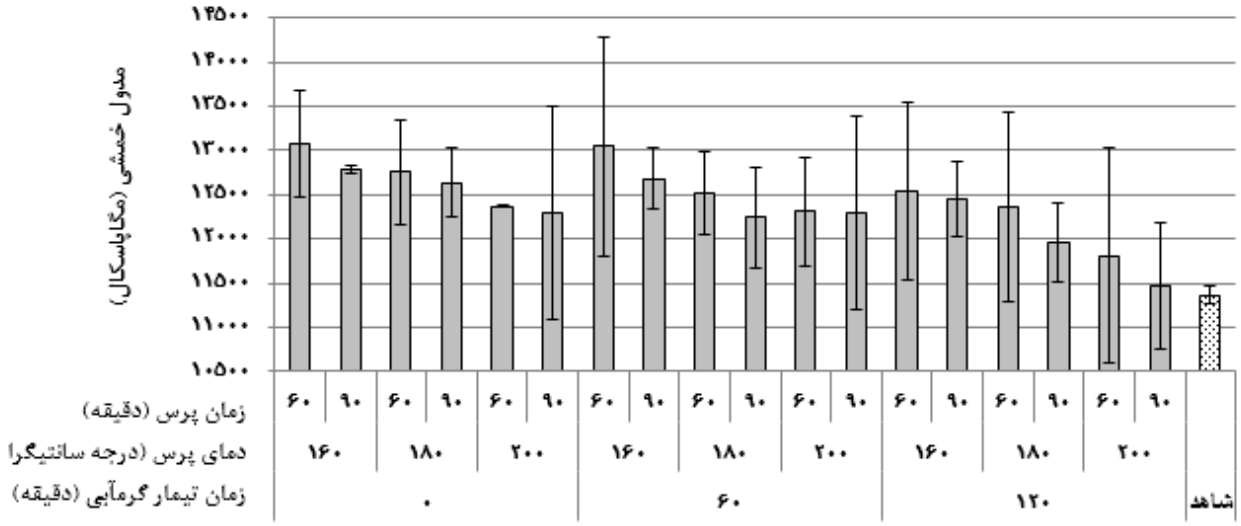
نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند که در تیمار گرمآبی- مکانیکی، فقط فاکتور زمان تیمار گرمآبی دارای اثر معنی‌داری بر مقاومت خمشی می‌باشد. در مورد مدول خمشی نیز زمان تیمار گرمآبی و دمای پرس دارای اثر معنی‌دار می‌باشند. مقایسه تیمارها در شکل ۳ نشان می‌دهند که با افزایش زمان تیمار گرمآبی مقاومت خمشی کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که بالاترین میزان مقاومت خمشی مربوط به زمان تیمار گرمابی صفر، دمـــای پرس ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس ۶۰ دقیقه و برابر با ۱۱۹/۹۲ مگاپاسکال می‌باشد. کمترین مقدار مقاومت خمشی نیز مربوط به شرایط زمان تیمار گرمآبی ۱۲۰ دقیقه، دمای پرس ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس ۹۰ دقیقه و برابر با ۹۳/۰۵ مگاپاسکال است. بررسی مقایسه میانگین‌های مقاومت خمشی نمونه‌ها نیز نشان دادند که بیشترین مقدار مقاومت خمشی مربوط به شرایط زمان تیمار گرمآبی صفر دقیقه بوده است که به‌همراه زمان تیمار ۶۰ دقیقه در یک گروه قرار گرفته‌اند و کمترین میزان مقاومت خمشی مربوط به زمان تیمار گرمآبی ۱۲۰ دقیقه می‌باشد.



شکل ۳- تأثیر ترکیب شرایط مختلف تیمار گرمآبی- مکانیکی بر مقاومت خمشی

همچنین نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند که مدول خمشی نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر دو عامل زمان تیمار گرمآبی و دمای پرس قرار می‌گیرد. مقایسه تیمارها در شکل ۴ نشان می‌دهند با افزایش زمان تیمار گرمآبی و دمای پرس، مدول خمشی نمونه‌های فشرده شده کاهش می‌یابد؛ اما افزایش زمان پرس هرچند سبب کاهش مدول خمشی می‌گردد اما به لحاظ آماری اثر معنی‌داری ندارد. در ترکیب شرایط مختلف تیمار گرمآبی- مکانیکی، بالاترین میزان مدول خمشی نمونه‌ها مربوط به شرایط زمان تیمار گرمابی صفر، دمای پرس ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس ۶۰ دقیقه و برابر با ۱۳۰۷۰ مگاپاسکال می‌باشد. کمترین مقدار مقاومت خمشی نیز مربوط به شرایط زمان تیمار گرمآبی ۱۲۰ دقیقه، دمای پرس ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس ۹۰ دقیقه و برابر با ۱۱۴۷۱ مگاپاسکال است (شکل ۴). مقایسه میانگین‌های مدول خمشی نمونه‌ها نشان دادند که بیشترین مقدار مدول خمشی مربوط به شرایط زمان تیمار گرمآبی صفر دقیقه و دمای پرس ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد بوده است و کمترین میزان مدول خمشی مربوط به شرایط زمان تیمار

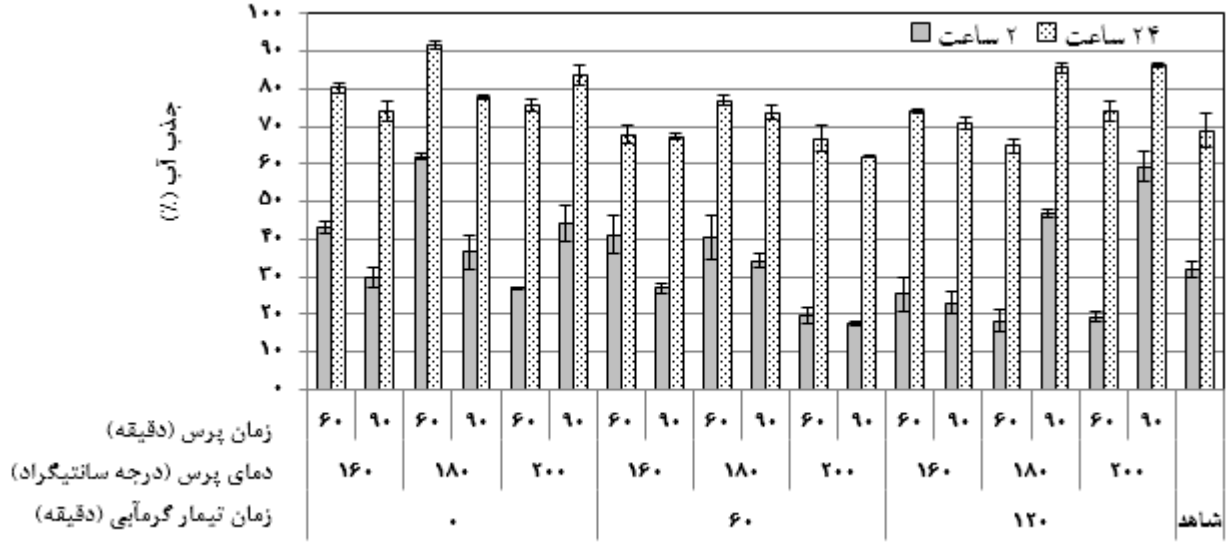
گرمآبی ۱۲۰ دقیقه و دمای پرس ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



شکل ۴- تأثیر ترکیب شرایط مختلف تیمار گرمآبی- مکانیکی بر مدول خمشی

جذب آب و واکشیدگی در راستای فشردگی

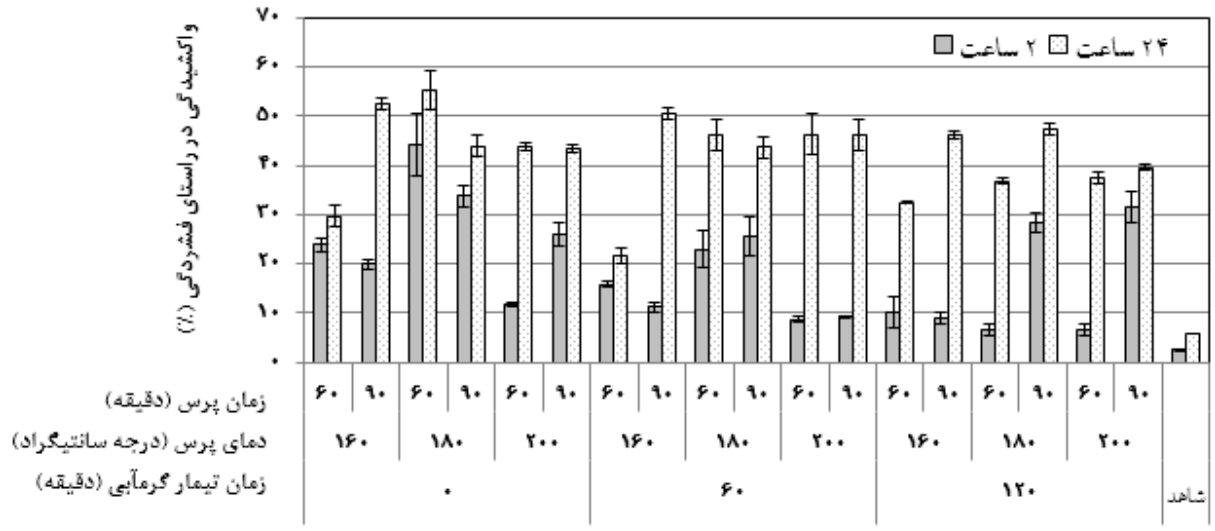
نتایج آنالیز داده‌ها نشان دادند که در فرایند گرمآبی- مکانیکی، کلیه فاکتورها شامل زمان تیمار گرمآبی، دمای پرس و زمان پرس دارای اثر معنی‌داری بر میزان جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت نمونه‌ها می‌باشد. مقایسه تیمارها در شکل ۵ نشان می‌دهند که در فرایند گرمآبی- مکانیکی، تأثیر فاکتورهای مورد بررسی شامل زمان تیمار گرمآبی، زمان و دمای پرس اثرهای متفاوتی بر میزان جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت نمونه‌ها دارند؛ به‌طوری‌که کمترین میزان جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت مربوط به شرایط زمان تیمار گرمآبی ۶۰ دقیقه، دمای پرس ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس ۹۰ دقیقه بوده و به‌ترتیب برابر با ۱۷/۴۴ و ۶۱/۸۹ درصد می‌باشد. همچنین در ترکیب شرایط مختلف تیمار، بالاترین میزان جذب آب مربوط به شرایط زمان تیمار گرمآبی صفر دقیقه، دمای پرس ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس ۶۰ دقیقه بوده و به‌ترتیب برابر با ۶۱/۹۲ و ۹۲/۶۰ درصد است (شکل ۵). مقایسه میانگین‌های جذب آب ۲ ساعت نشان دادند که بیشترین میزان جذب آب ۲ ساعت مربوط به شرایط زمان تیمار گرمآبی صفر دقیقه و دمای پرس ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد بوده است و کمترین میزان جذب آب ۲ ساعت مربوط به زمان تیمار گرمآبی ۶۰ دقیقه و دمای پرس ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که به‌همراه زمان تیمار گرمآبی ۱۲۰ دقیقه و دمای پرس ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد در یک گروه قرار گرفتند. اما بررسی مقایسه میانگین‌های جذب آب ۲۴ ساعت نشان دادند که بیشترین میزان جذب آب ۲۴ ساعت مربوط به شرایط زمان تیمار گرمآبی صفر دقیقه و دمای پرس ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد بوده است و کمترین میزان جذب آب ۲۴ ساعت مربوط به زمان تیمار گرمآبی ۶۰ دقیقه و دمای پرس ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



شکل ۵- تأثیر ترکیب شرایط مختلف تیمار گرمآبی- مکانیکی بر جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت

نتایج آنالیز نشان دادند که در فرایند گرمآبی- مکانیکی، تمامی فاکتورها شامل زمان تیمار گرمآبی، دمای پرس و زمان پرس دارای اثر معنی‌داری بر واکشیدگی در راستای فشردگی ۲ و نیز ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب نمونه‌ها می‌باشد. شکل ۶ نشان می‌دهد که کمترین میزان واکشیدگی در راستای فشردگی ۲ ساعت مربوط به شرایط زمان تیمار گرمآبی ۱۲۰ دقیقه، دمای پرس ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس ۶۰ دقیقه بوده و برابر با ۶/۵۹ درصد است. بیشترین میزان واکشیدگی در راستای فشردگی ۲ ساعت نیز مربوط به شرایط زمان تیمار گرمآبی صفر دقیقه، دمای پرس ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس ۶۰ دقیقه بوده و برابر با ۴۴/۱۸ درصد می‌باشد (شکل ۶). بررسی مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که بیشترین میزان واکشیدگی در راستای فشردگی ۲ ساعت مربوط به شرایط زمان تیمار گرمآبی صفر دقیقه و دمای پرس ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد بوده است و کمترین میزان واکشیدگی در راستای فشردگی ۲ ساعت مربوط به شرایط زمان تیمار گرمآبی ۱۲۰ دقیقه و دمای پرس ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که به‌همراه زمان تیمار گرمآبی ۶۰ دقیقه و دمای پرس ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد در یک گروه قرار گرفتند.

همچنین نتایج بیانگر آن است که کمترین میزان واکشیدگی در راستای فشردگی ۲۴ ساعت مربوط به شرایط زمان تیمار گرمآبی ۶۰ دقیقه، دمای پرس ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس ۶۰ دقیقه بوده و برابر با ۲۱/۵۸ درصد می‌باشد و بیشترین میزان واکشیدگی در راستای فشردگی ۲۴ ساعت نیز مربوط به شرایط زمان تیمار گرمآبی صفر دقیقه، دمای پرس ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس ۶۰ دقیقه بوده و برابر با ۵۵/۲۹ درصد است (شکل ۶). بررسی مقایسه میانگین‌ها نشان دادند که بیشترین میزان واکشیدگی در راستای فشردگی ۲۴ ساعت مربوط به شرایط زمان تیمار گرمآبی صفر دقیقه و دمای پرس ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد بوده است و کمترین میزان واکشیدگی در راستای فشردگی ۲۴ ساعت مربوط به زمان تیمار گرمآبی ۱۲۰ دقیقه و دمای پرس ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



شکل ۶- تأثیر ترکیب شرایط مختلف تیمار گرمآبی- مکانیکی بر واکشیدگی در راستای فشردگی ۲ و ۲۴ ساعت

بحث

نتایج حاصل از این بررسی نشان دادند که تیمار گرمآبی- مکانیکی با در نظر گرفتن کلیه فاکتورهای متغیر سبب افزایش دانسیته نمونه‌های تیمار شده در مقایسه با نمونه‌های شاهد می‌گردد که به‌دلیل فرایند فشرده‌سازی می‌باشد.

بررسی میزان بازگشت فنری نمونه‌های تیمار شده با فرایند گرمآبی مکانیکی نشان دادند که تیمار گرمآبی دارای اثر چشمگیری بر این ویژگی می‌باشد، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین میزان بازگشت فنری پس از پرس به‌ترتیب مربوط به نمونه‌های با زمان تیمار گرمآبی صفر و ۱۲۰ دقیقه است. در حقیقت تیمار گرمابی و نیز حرارت استفاده شده در مرحله پرس سبب تغییر ساختار شیمیایی چوب (تخریب همی‌سلولزها، افزایش کریستالیته سلولز و افزایش پیوند عرضی در لیگنین)، پایداری ابعادی و در نهایت کاهش بازگشت فنری شده است (Mohebby *et al.*, 2009; Hakkou *et al.*, 2005). همچنین نتایج بررسی بازگشت فنری نمونه‌ها نشان دادند که دمای پرس نیز دارای اثر معنی‌داری بر این خصوصیت می‌باشد؛ به‌طوری‌که بیشترین و کمترین میزان بازگشت فنری پس از پرس به‌ترتیب مربوط به دمای پرس ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد بوده است. همان‌طور که در بالا اشاره گردید به نظر می‌رسد که در دمای پرس ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، تغییر ساختار شیمیایی چوب نه‌چندان شدید بوده که سبب تخریب ساختار چوب گردد و نه‌چندان ضعیف می‌باشد که تأثیر بسزایی بر میزان بازگشت فنری نداشته باشد.

نتایج بررسی مقاومت خمشی نمونه‌های تیمار شده با فرایند گرمآبی- مکانیکی نشان دادند که زمان تیمار گرمآبی دارای اثر معنی‌داری بر مقاومت خمشی نمونه‌ها می‌باشد و با افزایش زمان تیمار گرمآبی از صفر به ۱۲۰ دقیقه، مقاومت خمشی کاهش می‌یابد. افزایش زمان تیمار گرمآبی سبب ترد و شکننده شدن ساختار چوب ازجمله لیگنین و نیز کاهش طول زنجیره سلولز می‌گردد که کاهش مقاومت خمشی را به دنبال دارد. Saari و همکاران (۲۰۱۴) نیز در تحقیقات خود به این نتیجه دست یافتند. همچنین نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند که مدول خمشی نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر دو عامل زمان تیمار گرمآبی و دمای پرس قرار دارد، به‌طوری‌که با افزایش زمان تیمار گرمآبی از صفر به ۱۲۰ دقیقه و نیز دمای پرس از ۱۶۰ به ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، مدول

خمشی نمونه‌های فشرده شده کاهش می‌یابد که ترد و شکننده شدن ساختار چوب در اثر فرایند گرمآبی- مکانیکی می‌تواند منجر به این موضوع گردد (Mohebby *et al.*, 2009).

نتایج بررسی میزان جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت نمونه‌های تیمار شده با فرایند گرمآبی- مکانیکی نشان دادند که هر سه عامل زمان تیمار گرمآبی، دمای پرس و زمان پرس بر میزان جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت مؤثر می‌باشند؛ به‌طوری‌که کمترین میزان جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت در زمان تیمار گرمآبی ۶۰ دقیقه حاصل شد. همچنین نتایج نشان دادند که افزایش دما و زمان پرس باعث بهبود جذب آب نمونه‌ها می‌گردد؛ به‌طوری‌که با افزایش دمای پرس به ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس به ۹۰ دقیقه، کمترین میزان جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت به‌دست آمد.

نتایج بررسی نشان دادند که در فرایند گرمآبی- مکانیکی، هر سه عامل زمان تیمار گرمآبی، دمای پرس و زمان پرس دارای اثر معنی‌داری بر واکشیدگی در راستای فشردگی نمونه‌های غوطه‌ور شده در آب بوده است؛ به‌طوری‌که تیمار گرمآبی سبب کاهش واکشیدگی در راستای فشردگی ۲ و ۲۴ ساعت نمونه‌ها می‌گردد و کمترین مقدار آن در زمان تیمار گرمآبی ۱۲۰ دقیقه به‌دست آمد. زمان پرس نیز بر واکشیدگی در راستای فشردگی ۲ و ۲۴ ساعت مؤثر بوده و کمترین میزان واکشیدگی در راستای فشردگی ۲ و نیز ۲۴ ساعت در زمان پرس ۶۰ دقیقه به‌دست آمد. همچنین نتایج نشان دادند که افزایش دمای پرس سبب کاهش واکشیدگی در راستای فشردگی ۲ ساعت و افزایش واکشیدگی در راستای فشردگی ۲۴ ساعت می‌گردد. در فرایند گرمآبی- مکانیکی، نمونه‌ها در دو مرحله تیمار گرمآبی و پرس گرم (تیمار مکانیکی) تحت تیمار حرارتی قرار می‌گیرند که این امر سبب کاهش میزان واکشیدگی در راستای فشردگی می‌گردد؛ اما باید توجه نمود که تیمار حرارتی در یک دامنه معینی از میزان دما و زمان تیمار می‌تواند سبب این امر گردد و در خارج از این محدوده، افت خواص فیزیکی و مکانیکی ازجمله افزایش واکشیدگی را به همراه خواهد داشت. Mohebby و همکاران (۲۰۰۹) نیز در بررسی تأثیر تیمار گرمابی- مکانیکی از سه دمای تیمار گرمابی ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد استفاده نمودند و بیان کردند که در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به خواص فیزیکی و مکانیکی بهتری دست یافتند. آنان در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که دمای تیمار گرمآبی بسیار مؤثرتر از دمای پرس بود که این امر سبب تغییر ساختار شیمیایی چوب (تخریب همی‌سلولزها، افزایش کریستالیته سلولز و افزایش پیوند عرضی در لیگنین) و آبگریز شدن و درنتیجه کاهش واکشیدگی می‌شود. اما افزایش بیش‌ازحد دما و زمان در تیمار گرمآبی و نیز پرس گرم (در فرایند گرمآبی- مکانیکی) سبب تخریب ساختار فیزیکی و شیمیایی چوب ازجمله کاهش طول زنجیره سلولز، ترد و شکننده شدن لیگنین و درنتیجه افت خصوصیات فیزیکی و مکانیکی می‌گردد (Mohebby *et al.*, 2009).

منابع مورد استفاده

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

-Anshari, B., Guan, Z.W., Kitamori, A., Jung, K., Hassel, I., Komatsu, K., 2011. Mechanical and Moisture-Dependent Swelling Properties of Compressed Japanese Cedar, Construction and Building Materials, 25: 1718–1725.

-Bekhta, P., Hiziroglu, S., Shepelyuk, O., 2009. Properties of Plywood Manufactured from Compressed Veneer as Building Material, Materials and Design, 30: 947–953.

-Dioufa, P.N., Stevanovicb, T., Cloutierb, A., Fangb, C.H., Blanchetc, P., Koubaad, A., Mariottib, N., 2011. Effects of Thermo-Hygro-Mechanical Densification on the Surface Characteristics of Trembling Aspen and Hybrid Poplar Wood Veneers, Applied Surface Science, 257: 3558–3564.

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

-Hajihassani, R., 2017. Evaluation of Physical and Mechanical Properties of Glulam Made from Treated Poplar Wood by Combined Hygro Thermo-Mechanical Modification. Dissertation thesis, Tarbiat Modares University.

-Hakkou, M., Pétrissans, M., Zoulalian, A., Gérardin, P., 2005. Investigation of Wood Wettability Changes

During Heat Treatment on the Basis of Chemical Analysis, Polymer Degradation and Stability, 89: 1-5.

-Lam, P.S., Lam, P.Y., Sokhansanj, Sh., Bi, X.T., Lim, C.J., 2013. Mechanical and Compositional Characteristics of Steam-Treated Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii* L.) During Pelletization, Biomass and Bioenergy, 56: 116-126.

-Mohebby, B., Sharifnia-Dizboni, H., 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.

-Saari, N., Hashim, R., Sulaiman, O., Hiziroglu, S., Sato, M., Sugimoto, T., 2014. Properties of Steam Treated Binderless Particleboard Made from Oil Palm Trunks, Composites: Part B, 56: 344–349.

-Welzbacher, C.R., Wehsener, J., Rapp, A.O., Haller, P., 2008. Thermo-Mechanical Densification Combined with Thermal Modification of Norway Spruce (Picea abies Karst) in Industrial Scale-Dimensional Stability and Durability Aspects, Holz Roh Werkst, 66: 39–49.

Effect of press conditions on physical and mechanical properties of hydro thermo-mechanical treated poplar wood

R. Hajihassani

- Assistant Prof., Wood and forest products division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, Email: Reza.Hajihassani@gmail.com

Received: Nov., 2021 Accepted: June, 2021

Abstract

The aim of current research was to investigate the effect of hydro thermo-mechanical treatment and also press conditions on the physical and mechanical properties of poplar wood (*Populus deltoides*). The wood blocks were initially treated hydrothermally at temperatures of 100°C for retention time of 0, 60, 120 minutes. Then, the densification process was carried out using a hot press at two phases 1- contact and 2- compression press, for temperature of 160, 180 and 200°C for 60 and 90 minutes. The wood compression set was adjusted for 40 percent based on the thickness (radial direction) of the blocks. The samples were physically and mechanically tested for density, springback after press, water absorption, thickness swelling, bending strength and modulus of elasticity. Afterward, the results were analyzed based on a complete randomized design (CRD) under a factorial experiment. Results revealed that physical and mechanical properties of samples were enhanced due to the combined hydro thermo-mechanical treatment. Results revealed that this process causes reduction of springback, water absorption and thickness (radial direction) swelling and also improvement of mechanical properties such as bending strength and modulus of elasticity.

Keywords: Poplar, hydro thermo-mechanical treatment, compression, physical and mechanical properties.