دوفصلنامهٔ علمی - پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۲۳، شمارهٔ ۲ ، صفحهٔ ۱۹۹-۱۹۱، (۱۳۸۷)

اثر فشرده‌سازی در جهت موازی الیاف بر خصوصیات مکانیکی چوب راش

سید حمزه سادات نژاد*[۱]، مهدی تجویدی[۲] و حسین یوسفی[۳]

۱*- مسئول مکاتبات، کارشناسی ارشد، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، h.sadatnejad@gmail.com
۲- استادیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
۳- دانشجوی دکتری، گروه صنایع چوب و کاغذ ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت : آذر ماه ۱۳۸٦ تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۸٦

چکیده

در این مطالعه، تیمار مکانیکی فشرده‌سازی در جهت موازی الیاف چوب راش (*Fagus orientalise*) جهت ارزیابی تاثیر آن بر خواص مکانیکی چوب، در سه سطح صفر، ۱۰و ۱۵ درصد طول اولیه نمونه پس از تیمار حرارتی رطوبتی انجام گرفته و مقاومت‌های مکانیکی نمونه‌ها شامل مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته ظاهری، مدول الاستیسیته کششی، مقاومت کششی و کرنش کششی اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان دادند که در اثر تیمار و با افزایش میزان فشردگی، مقدار مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته ظاهری، مدول الاستیسیته کششی و مقاومت کششی کاهش و کرنش کششی افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی : فشار موازی الیاف، تیمار حرارتی رطوبتی، خصوصیات مکانیکی

مقدمه

آگاهی از خواص و ویژگی‌های مواد کمک می‌نماید تا بتوان قابلیت کاربردی مواد را در زمینه‌های مختلف مشخص و همچنین با سایر مواد مقایسه نمود. چوب به‌عنوان ماده آلی که از درخت به‌دست می‌آید دارای طبیعت خاص خود می‌باشد و از زمان پیدایش انسان تاکنون همواره به عنوان یک ماده اولیه مهم مطرح بوده است چرا که همواره از چوب در ساخت وسائل و ابزارهای مورد نیاز خود بهره می‌گرفتند بنابراین شناخت ویژگیهای آن با توجه به کاربرد آن در زندگی بشر حائز اهمیت بوده و به‌کارگیری روشهای متنوع جهت بهبود خواص آن با توجه به نوع کاربرد آن امری ضروری می‌نماید. امروزه به‌وضوح می‌توان حضور چوب را در اطراف خود و اهمیت اقتصادی آن در زندگی بشری مشاهده نمود، بنابراین جهت سهولت در کاربرد مفیدتر و مؤثرتر چوب آگاهی از خصوصیات کاربردی و خواص مهندسی چوب کمک شایانی برای مهندسان، طراحان و سایر اقشار ذیربط می‌باشد تا آنها بتوانند به دانش و مشاهدات میدانی خود در ارتباط با چوب و فرآورده‌های حاصل از آن بیافزایند که مطمئناً این مسئله خود پشتوانه مصرف بهتر و پیشرفته‌تر در ساخت سازه‌ها، مصنوعات و محصولات زیبای چوبی و صنایع مرتبط خواهد شد. چوب با توجه به ساختار و مواد تشکیل‌دهنده آن انعطاف‌پذیری کمی دارد و شکل دهی به آن بدون استفاده از روشهای آماده‌سازی در ابعاد بالا ممکن نمی‌باشد، بنابراین شناخت مواد و روشهای اقتصادی و کم‌خطر از نظر زیست محیطی همواره مورد توجه بوده است. آنچه در این بررسی مدنظر می‌باشد اثر تیمار بخارزنی به همراه فشرده‌سازی بر ویژگیهای مکانیکی و مقاومت چوب می‌باشد. از آنجائی که گونه راش سطح وسیعی از جنگل های شمال را می پوشاند و به لحاظ تجاری و بهره برداری بیش از سایر گونه ها مورد توجه است، در این

Archive of SID
www.SID.ir

تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته است. Stevens و همکاران (۱۹٦۷) در بررسی‌های خود اعلام کرده‌اند که قطعات چوبی که به کمک بخاردهی یا در آب جوش نرم شده‌اند را می‌توان به میزان قابل ملاحظه‌ای نسبت به حالت تیمار نشده در جهت طولی فشرده نمود. این نمونه‌ها پس از اعمال فشار، خمش خوبی از خود نشان می‌دهند و می‌توان آن‌ها را به شعاع‌های کم‌تری نسبت به نمونه‌هایی که فشرده نشده‌اند خم نمود، البته این نکته نیز قابل توجه می‌باشد که گونه‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ مناطق گرمسیری را نمی‌توان با این روش خم نمود چون فشرده شدن این گونه‌ها معمولاً با کمانش و لهیدگی داخلی دیواره سلولی همراه می‌باشد. Babicki و همکاران (۱۹۷۷) در تحقیقی اثر دما را بر خواص مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی چوب راش مورد بررسی قرار دادند. نمونه‌ها در دو دمای ۵۰ و ۱۰۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۲۵ ساعت در آب حرارت‌دهی شدند. مشاهدات بدین صورت می‌باشد که حرارت‌دهی نمونه‌ها در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد تغییر خاصی در مقاومت‌های چوب ایجاد نمی‌کند ولی در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد سبب تغییر در میزان دانسیته، همکشیدگی و آلفا سلولز چوب می‌گردد. این عوامل سبب کاهش قابل ملاحظه‌ای در خواص مقاومتی نمونه‌های آزمونی می‌شود که با افزایش حرارت‌دهی این کاهش مقاومت بیشتر می‌شود. Kärenlampi و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیقی نشان داده‌اند که فشار موازی الیاف سبب کاهش قابل ملاحظه‌ای در خواص مقاومتی چوب نوئل می‌گردد که این کاهش در فشردگی در جهت عمود بر الیاف دیده نمی‌شود. وی بیان کرد که کاهش سفتی به دلیل افزایش دما در جهت مماسی بیشتر از سایر جهات می‌باشد ولی با اعمال فشار موازی الیاف این وضعیت برعکس می‌شود به‌طوری‌که کاهش در جهت الیاف بیشتر از جهت مماسی می‌گردد. وی همچنین اعلام کرد که فشردگی به میزان ۸۰٪ کرنش فشاری در دمای ۱۳۱ درجه سانتیگراد سبب جابه‌جایی جهت مقاومت در چوب می‌گردد که با افزایش دما تغییرات بیشتر می‌گردد و کرنش پلاستیکی در جهت فشرده‌سازی با افزایش دما افزایش می‌یابد. لذا با توجه به بررسی‌های انجام شدهاین تحفیف با هدف تعیین مقاومت‌های مکانیکی چوب راش پس از بخارزنی و با درصد معین فشردگی طولی انجام گردیده است.

مواد و روش ها

نمونه‌های آزمونی از الوارهای استحصالی گونه راش از جنگل تحقیقاتی و آموزشی دانشکده منابع‌طبیعی دانشگاه تهران واقع در منطقه خیرود کنار نوشهر تهیه شده‌اند. جهت تهیه نمونه‌ها آن دسته از الوارهایی که به صورت راست تار، فاقد معایب رویشی (گره، مارپیچ تاری، انحراف الیاف) و پوسیدگی بوده‌اند انتخاب شدند. الوارها به کمک اره نواری به طول‌های ٦۰ سانتی‌متر برش داده شده و به کمک اره گرد نمونه ها جهت فشردگی به ابعاد ۵۸×۳/۵×۲/۵ سانتی متر تهیه شدند و سپس با رنده کف‌رند شدند. جهت جلوگیری از کمانش نمونه‌ها در حین فشرده‌سازی به دلیل بالا بودن نسبت l/d از پروفیل آهنی با ابعاد اسمی سطح مقطع ۲/۵×۳/۵ سانتی‌متر مربع استفاده شد. در ادامه بعد از اندازه‌بری، الوارها به کمک اره گرد به‌صورت شعاعی، مماسی به ابعاد مورد نظر تبدیل شدند. بعد از برش مقاطع انتهایی نمونه‌ها به وسیله پارافین اندود گشته تا از تبادل رطوبتی و ترک خوردن نمونه‌ها جلوگیری شود.

رطوبت مطلوب و موردنظر جهت انجام کار، رطوبت حد اشباع الیاف (۲۵-۳۰) می‌باشد. به‌منظور دستیابی به چنین رطوبتی نمونه‌ها بعد از برش با کنترل شرایط دفع رطوبت، با هدف جلوگیری از بروز ترک، به حد مورد نظر رسانده شدند. از آنجایی که دفع رطوبت سبب کاهش حجم و همکشیدگی نمونه‌ها می‌گردید در برش اولیه نمونه‌ها به ابعاد بزرگتری نسبت به حالت مطلوب بریده شدند، در

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه نمونه‌ها بعد از یکنواخت‌سازی رطوبت‌شان به جهت آن‌که بتوانند به راحتی در درون پروفیل قرار گیرند مجدداً توسط اره گرد تحت برش اصلاحی قرار گرفته و همچنین طول آن‌ها به ۵۸ سانتی‌متر کاهش داده شد. جهت بخارزنی از دستگاه بن‌ماری استفاده شد. بخارزنی نمونه‌ها با کمک بخار آب جوش ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و در شرایط فشار اتمسفر صورت گرفته است. مدت زمان تیمار برای نمونه‌ها یک ساعت به ازاء هر سانتی‌متر ضخامت بوده است. نمونه‌ها بلافاصله بعد از بخارزنی جهت فشرده‌سازی در درون پروفیل قرار داده شدند. جهت کاهش افت حرارت نمونه‌ها در حین فشرده‌سازی پروفیل حاوی نمونه به کمک یونولیت عایق‌بندی شدند.

جهت فشرده کردن نمونه‌ها از دستگاه Instron مدل٤٤٨٦ استفاده شد. بارگذاری با سرعت ٤ میلیمتر بر دقیقه به صورت موازی با الیاف بر نمونه‌ها اعمال شد. به منظور توزیع یکنواخت بار در سطح نمونه‌ها از بلوک‌های چوبی تهیه شده از گونه انجیلی استفاده شده است. نمونه‌ها در دو سطح ۱۰ و ۱۵ درصد طول اولیه و یا به عبارت دیگر ۵۸ و ۸۷ میلیمتر فشرده شدند. در جدول ۱ انواع تیمارها و اصطلاحات اختصاری آن‌ها نشان داده شده است.

جدول۱. مشخصات مربوط به هر تیمار براساس مقدار فشردگی (درصد).

نوع تیمار	A	B	C	نمونه شاهد(چوب ماسیو)
مقدار فشردگی (٪)	بدون فشردگی	٪۱۰	٪۱۵	بدون فشردگی و بخارزنی

پس از فشرده‌سازی، نمونه‌ها در شرایط دمای ۱±۲۰ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۱±٦٥ درصد به مدت ۳ هفته تیمار شدند و بعد از آن مطابق آیین نامه ۹۳-۱٤۳ D استاندارد ASTM از آنها آزمونه‌های خمش و کشش موازی الیاف تهیه شد. به منظور بررسی میکروسکپی اثر فشار موازی الیاف بر نمونه ها و تحلیل نتایج به دست آمده، عکس‌های میکروسکوپ الکترونی با استفاده از میکروسکوپ SEM مدلXL30 تهیه شدند. جهت تحلیل آماری، با کمک نرم افزار Minitab داده ها در قالب طرح کاملاً تصادفی و با تکنیک آنالیز واریانس تجزیه و تحلیل شده و برای مقایسه میانگین ها از آزمون دانت استفاده شده است.

نتایج

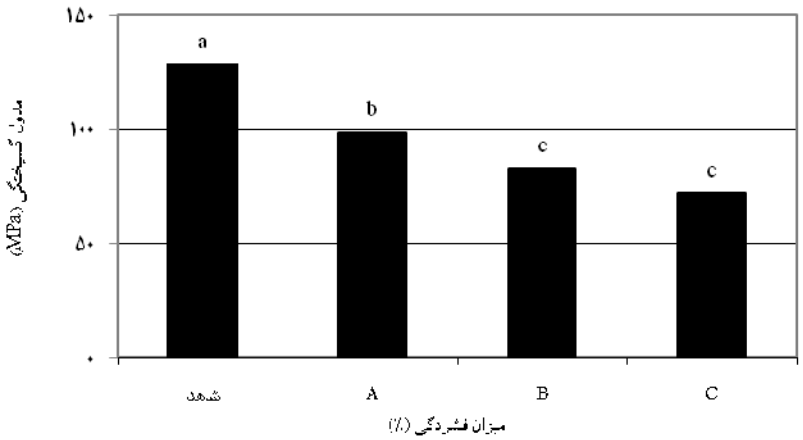
آزمون خمش

مدول گسیختگی

تجزیه واریانس نتایج حاصل از اندازه‌گیری مدول گسیختگی نشان می‌دهد که اثر فشردگی بر مدول گسیختگی در سطح احتمال ٪۱ معنی‌دار بوده است. با افزایش فشردگی روند کاهشی در میزان مدول گسیختگی مشهود است، به‌طوری‌که بیشترین مقدار مدول گسیختگی مربوط به نمونه‌های شاهد (۱۲۸/۲۲ MPa) در گروه a و کم‌ترین مقدار آن مربوط به نمونه‌های بخارزنی شده و با فشردگی ٪۱۵ می‌باشد (۷۱/۷۵ MPa) با افت ٤۳ درصدی که در گروه c قرار دارد(شکل۱).

Archive of SID

www.SID.ir

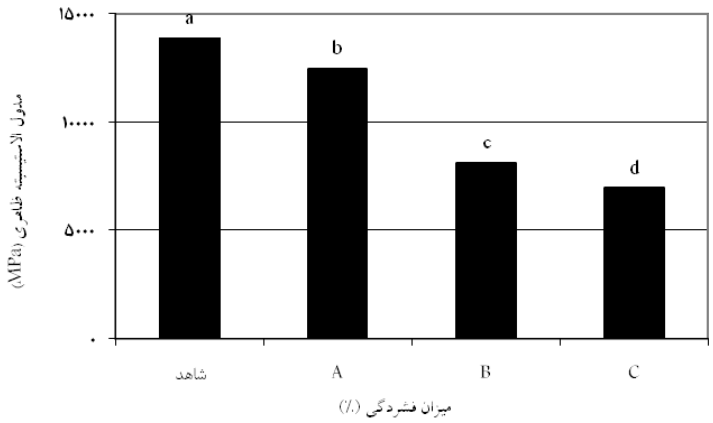


شکل۱ : اثر میزان فشردگی بر مدول گسیختگی

مدول الاستیسیته ظاهری

نتایج تجزیه واریانس حاصل از اندازه‌گیری مدول‌الاستیسیته ظاهری نشان می‌دهند که اثر فشرده کردن بر مدول الاستیسیته ظاهری در سطح اعتماد ٪۱ معنی‌دار بوده است. با افزایش فشردگی مقدار مدول الاستیسیته ظاهری کاهش نشان می‌دهد، به‌طوری‌که بیشترین مقدار مربوط به نمونه‌های شاهد (۱۳۸۷۹ MPa) در گروه a و کم‌ترین مقدار آن مربوط به نمونه‌های بخارزنی شده و با فشردگی ٪۱۵ بوده (٦۹٤٦ MPa) که در گروه c قرار دارد.

در حالت بخارزنی شده نمونه‌ها به میزان ٪۱۰ کاهش مقاومت، ولی نمونه‌های فشرده شده به میزان ٪۱۵ چیزی حدود ٪۵۰ کاهش مقاومت در مقایسه با نمونه‌های شاهد از خود نشان دادند. همان‌طور که شکل(۲) نشان می‌دهد، با توجه به آن‌که هر یک از تیمارها از نظر آماری در یک گروه قرار دارند ولی در اثر فشرده‌سازی افت مقاومت قابل ملاحظه‌ای بین نمونه‌های ۰ و ۱۰ درصد فشرده شده مشاهده می‌شود.



شکل۲ : اثر میزان فشردگی بر مدول الاستیسینه ظاهری

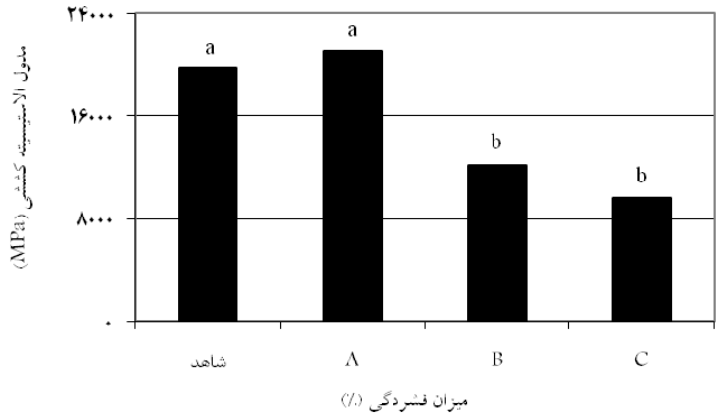
Archive of SID

www.SID.ir

آزمون کشش موازی الیاف

مدول الاستیسیته کششی:

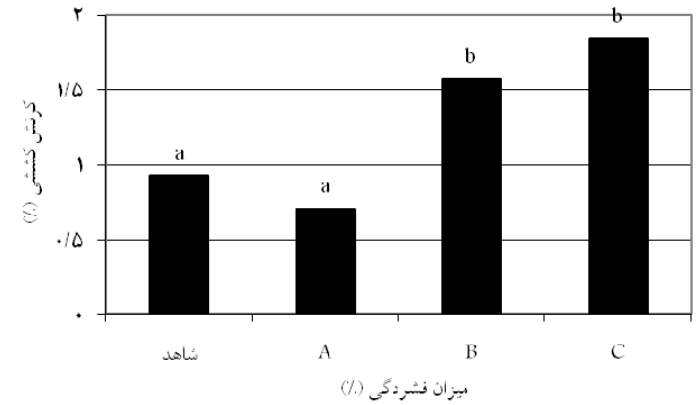
تجزیه واریانس نتایج حاصل از اندازه‌گیری مدول الاستیسیته کششی نشان می‌دهد که اثر فشرده‌سازی بر مدول الاستیسیته کششی در سطح اعتماد ٪۱ معنی‌دار بوده است. در شکل (۳) مشاهده می‌شود با افزایش فشردگی از مقدار مدول الاستیسیته کششی کاسته می‌شود، بیشترین مقدار مدول الاستیسیته مربوط به نمونه‌های بخارزنی شده و بدون اعمال فشار می باشد (۲۱۰۷۳ MPa) که در گروه a بوده و کم‌ترین مقدار مدول الاستیسیته مربوط به نمونه‌های بخارزنی شده و با فشردگی ٪۱۵ می‌باشد (۹۶۰۲ MPa) که در گروه b قرار دارد.



شکل۳ : اثر میزان فشردگی بر مدول الاستیسیته کششی

کرنش کششی

نتایج نشان دادند که اثر میزان فشردگی بر کرنش کششی در سطح اعتماد ٪۱ معنی دار است. مقادیر میانگین کرنش کششی و گروه‌بندی آن‌ها در شکل (٤) نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که با افزایش فشردگی میزان کرنش کششی افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که کم‌ترین مقدار کرنش کششی مربوط است به نمونه‌های بخارزنی شده و بدون فشردگی (٪۰/۷۰۶۲) و بیشترین مقدار آن مربوط به نمونه‌های بخارزنی شده با فشردگی ٪۱۵ می‌باشد (٪۱/۸۳۸۸).

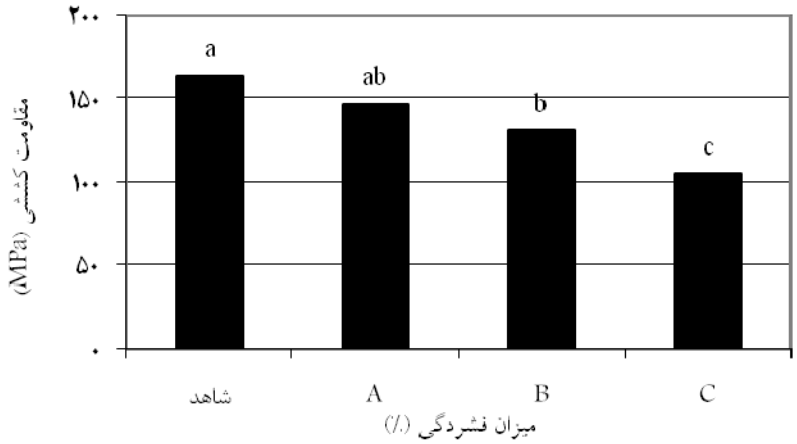


شکل٤ : اثر میزان فشردگی بر کرنش کششی

Archive
www.SID.ir

مقاومت کششی

تجزیه واریانس نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقاومت کششی نشان می‌دهند که اثر فشردگی بر مقاومت کششی در سطح اعتماد ٪۱ معنی‌دار بوده است. مقادیر مربوط به میانگین مقاومت کششی و گروه‌بندی آن‌ها در شکل (۵) ارائه شده است. مشاهده می‌گردد که با افزایش میزان فشردگی، مقاومت کششی کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار مربوط به نمونه‌های شاهد (۱۶۳/۷۷ MPa) و کم‌ترین مقدار مربوط به نمونه‌ها با فشردگی ٪۱۵ می‌باشد (۱۰۵/۱۶ MPa) که حدود ٪۳۵ نسبت به نمونه‌های شاهد کاهش یافته است.

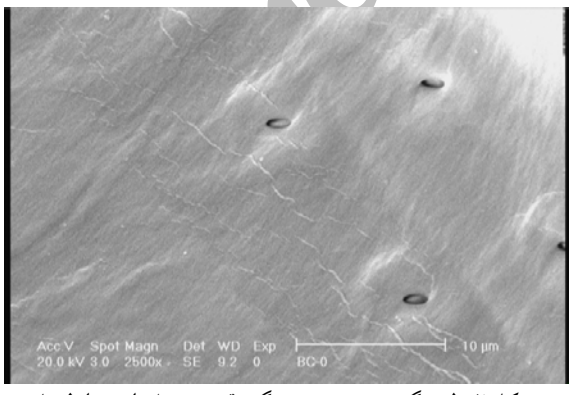


شکل۳ : اثر میزان فشردگی بر مقاومت کششی

تصویرهای الکترونی مربوط به نمونه‌های فشرده شده

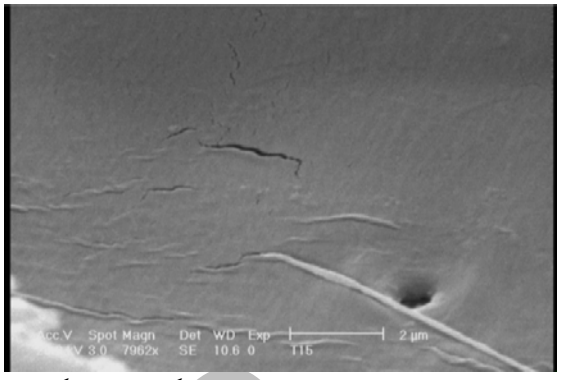
تصویرهای مربوط به نمونه‌هایی که فشرده شده بودند نشان‌دهنده لهیدگی در دیواره سلولی می‌باشد. شکل‌های ٦ و ۷ قسمت داخلی سلول فشرده شده را نشان می‌دهد، همان‌طور که مشخص ملاحظه می‌شود فشار موازی الیاف ترک‌هایی میکروسکوپی را در جدار سلول ایجاد کرده که این پدیده نیز در حین خشک شدن گسترش یافته و سبب ایجاد شکافی شده است که در تصویر می‌توان ملاحظه کرد.

همان‌طور که تصاویر نشان می‌دهند فشار سبب ایجاد ترک‌هایی در جدار سلول و فضای بین سلولی می‌گردد که میزان اتصال سلول‌ها با یکدیگر و همچنین سختی سلول را در مقابل نیروهای وارده کاهش می‌دهد (شکل ۸) این حالت سبب می‌شود سلول‌ها به راحتی و آزادانه در مقابل نیروی اعمال شده تغییرشکل بیشتری از خود نشان دهند.

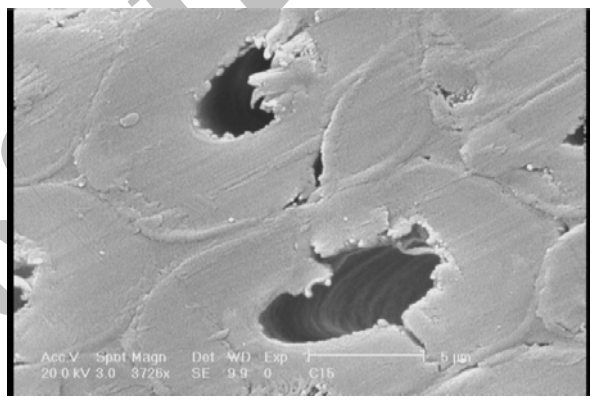


شکل٦ : لهیدگی و چین خوردگی قسمت داخلی سلول با فشردگی ٪۱۵. بزرگنمایی ۲۵۰۰x.

www.SID.ir



شکل۷ : ترک قسمت داخلی سلول با فشردگی ٪۱۵. بزرگنمایی ۷۹۶۲x.



شکل۸ : مقطع عرضی نمونه با فشردگی ٪۱۵. بزرگنمایی ۳۷۲۶x.

بحث

همی‌سلولزها ضعیف‌ترین جزء در ساختار چوب می‌باشند و در اثر حرارت دهی تجزیه شده و موجب انفصال بین ماتریکس و زنجیره‌های سلولزی می‌گردند (kentora). لذا با توجه به ثابت بودن دما و زمان برای تمام نمونه‌ها، بخارزنی سبب هیدرولیز قسمتی از همی‌سلولزها شده و موجب کاهش نسبی مقاومت به فشار آن‌ها می‌گردد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمون خمش، تیمار نمونه‌ها موجب کاهش در میزان مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته ظاهری شدند (شکل۱ و ۲). قابل ذکر است که شکست در ناحیه فشاری واقع شده بود. در نمونه‌هایی که بعد از بخارزنی فشرده شدند عامل اصلی کاهش مقاومت فشرده‌سازی و ترکهای میکروسکوپی می‌باشند (شکل٦ و ۷) که در جدار سلولی ایجاد شده است. در اثر اعمال فشار موازی الیاف و کاهش طول بیش از حد مجاز چوب و با توجه به بخارزنی جهت انعطاف‌پذیری در مقابل نیروی وارده، به‌دلیل تمرکز تنش در دیواره و افزایش آن بیش از حد تحمل چوب، ترکهایی در جدار سلول ایجاد می‌شود. وقوع ترک در جدار و فضای بین سلول‌ها، پیوستگی موجود در دیواره و بین سلول‌ها را کاهش می‌دهد و به‌نحوی به ساختار چوب با توجه به ترکهای ایجاد شده حالت انعطاف‌پذیری و عدم ثبات می‌دهد به‌طوری‌که افزایش میزان فشردگی ترکها در جدار سلول گسترش می‌یابند و این به نوبه خود به وضوح سبب کاهش پایداری چوب در خمش در مقایسه با نمونه‌های شاهد می‌گردد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمون کشش مشاهده می‌شود که با افزایش میزان فشردگی، مقادیر مقاومت کششی کاهش می‌یابند. نمونه‌های بخارزنی شده در مدول الاستیسیته کششی افزایش نسبی و در کرنش کششی از خود کاهش نشان می‌دهند، هر چند که این مقدار افزایش و کاهش از نظر آماری معنادار نمی‌باشد ولی علت آن را می‌توان در وقوع حالت اصلاح‌شدگی در چوب بر اثر حرارت دهی داشت، به‌طوری‌که حرارت‌دهی سبب کاهش همی‌سلولزها از یک سو و از سو دیگر افزایش نواحی کریستالینی در زنجیره سلولز می‌گردد (yildiz). ولی در اثر فشرده‌سازی همانطور که در مورد خمش نیز ذکر شد به‌دلیل وقوع شکستگی‌هایی که در زنجیره سلولزی و ناپیوستگی که در ماتریس حاصل می‌شود شاهد افت مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشیم.

با توجه به نتایج به‌دست آمده مشاهده می‌گردد در اثر تیمار فشرده‌سازی نمونه‌های فشرده شده به نوعی حالت انعطاف‌پذیری و نرم شدگی با توجه به حفظ حالت اولیه خود کسب نموده‌اند زیرا افزایش تغییر شکل در مقابل کاهش مقاومت نمونه‌ها موید این فرض می‌باشد. لذا با توجه به ارزیابی صحیح محصولات تولیدی از نظر

Archive of SID

www.SID.ir

مقاومتی می‌توان به بهترین نحو از انعطاف‌پذیری ایجاد شده در تولید مصنوعات با طرح و فرم مورد نظر بکار گرفت..

منابع مورد استفاده:

Babicki R., T.Grzeczynski., and H.Wroblewska., 1977. Effect of hydro-thermal treatment of green beech wood on its chemical and physico-mechanical properties. Wood science and technology. Vol:11, No:2, P: 125-131.

Kärenlampi P.P., Tynjälä, P., Ström, P., 2003. Effect of temperature and compression on the mechanical behavior of steam-treated wood. J. Wood Sci 49:298–304.

Kentaro A., Yamamoto, H., 2006. Chang in mechanical interaction between cellulose microfibril and matrix substance in wood cell wall induced by hydrothermal treatment. J. Wood Sci 52:107–110.

Rowller R., 1984. The chemistry of solid wood. Chapter 5. Based on a short symposium sponsored by the division of cellulose, paper and textile chemistry at the 185th meeting of the American chemical society, Seattle, Washington, March 20-25,1983.

Stevens W.C. Dean, A.R., 1967. method for improving bending properties of wood. J Forest Products Vol. 17, No. 5.

Uhmeier A., Morooka, T., and Norimoto, M., 1998. Influence of thermal Softening and Degrradation on the Radial Compression Behavior of Wet pruce. Holzforschung. Vol. 52, pp. 77-81.

Yildiz S., Esta G., 2007. The effect of thermal modification on crystalline structure of cellulose in soft and hardwood. Building and Environment 42 : 62–67

Archive of SID

www.SID.ir

Effect of longitudinal compression to bulk cell wall on mechanical properties of steamed treated of beach wood

Sadatnejad, H.*[1], Tajvidi, M.[2] and Yosefi, H.[3]

1*- Corresponding author, MSc, Wood Industries Department, University of Tehran, Iran. H.sadatnejad@gmail.com
2. Associate Professor, Wood Industries Department, University of Tehran, Iran.
3-PhD student Wood Industries Department, University of Tehran, Iran.
Received: Dec. 2007 Accepted: Feb. 2008

Abstract

In this study beech wood steamed specimens were compressed longitudinally to bulk cell wall at three levels of 0, 10 and 15 percent relative to their original length, and some mechanical properties including MOE, MOR, E-value, tensile strength, and tensile strain were measured. The results have shown that MOE, MOR and E-value as well as strength of specimens decrease with increasing compression but their tensile strain and work at maximum load increase.

Keywords: longitudinal compression to bulk cell wall, steaming treatment, mechanical properties

Archive of SID

www.SID.ir