

بررسی تأثیر رطوبت نسبی و بار بر رفتار خزش خمشی چوب ممرز در سه کلاسه ارتفاع از سطح دریا (مطالعه موردی: رویشگاه ماشلک نوشهر)

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر رطوبت نسبی و بار بر رفتار خزش خمشی چوب ممرز (*Carpinus betulus*) در سه کلاسه ارتفاع از سطح دریا انجام گرفت. بدین منظور ۹ اصله درخت نرمال ممرز در ۳ کلاسه ارتفاعی ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۱۰۰ متری از سطح دریا از طرح جنگلداری ماشلک نوشهر انتخاب و از هر درخت گرده‌بینه‌هایی در ناحیه قطر برابر سینه تهیه گردید. سپس ۳۲۴ نمونه کاملاً سالم تهیه شده از چوب بالغ در اتاق کلیماتیزه با شرایط رطوبت نسبی ۳۵، ۶۵ و ۹۵ درصد و دمای 3 ± 20 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. ابتدا خواص فیزیکی نمونه‌ها اندازه‌گیری و سپس بعد از ۳ هفته متعادل‌سازی، آزمون خمش با هدف تعیین حداکثر بار شکست بر روی ۸۱ نمونه در این سه شرایط رطوبت نسبی انجام گرفت. ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حداکثر بار شکست حاصل شده از آزمون خمش تعیین و سپس آزمون خزش خمشی چهار نقطه‌ای به‌منظور اندازه‌گیری پارامترهای خزش بر روی ۲۴۳ نمونه در بازه زمانی ۱۴ ساعت بارگذاری (رفت) و ۱۰ ساعت برداشت بار (بازگشت) در شرایط رطوبت نسبی یادشده انجام و بر اساس آن‌ها میزان خزش - بازگشت، مدول خزش و خزش نسبی نمونه‌ها مورد محاسبه قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که تأثیر سطوح مختلف رطوبت نسبی و بار بر پارامترهای خزش معنی‌دار است، بطوریکه بالاترین و پایین‌ترین نمودار خزش نسبی به ترتیب در دو سطح رطوبت نسبی ۹۵ و ۳۵ درصد و بالاترین و پایین‌ترین منحنی مدول خزش به ترتیب در دو سطح رطوبت نسبی ۳۵ و ۹۵ درصد تشکیل گردید. در اثر مستقل بار، بالاترین و پایین‌ترین منحنی خزش نسبی به ترتیب در دو سطح بارگذاری ۳۰ و ۱۰ درصد حداکثر بار شکست و بالاترین و پایین‌ترین منحنی مدول خزش به ترتیب در ۱۰ و ۳۰ درصد حداکثر بار شکست مشاهده گردید. نتایج افزایش خواص خمشی موجب کاهش پارامترهای خزش می‌شود.

واژگان کلیدی: ممرز، ارتفاع از سطح دریا، رطوبت نسبی، بار، خزش - بازگشت، مدول خزش، خزش نسبی.

ولی‌الله موسوی^{۱*}
عبدالله نجفی^۲
مجید کیایی^۳

^۱ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، ایران

^۲ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، ایران

^۳ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، ایران

مسئول مکاتبات:

valiullahmousavi@gmail.com

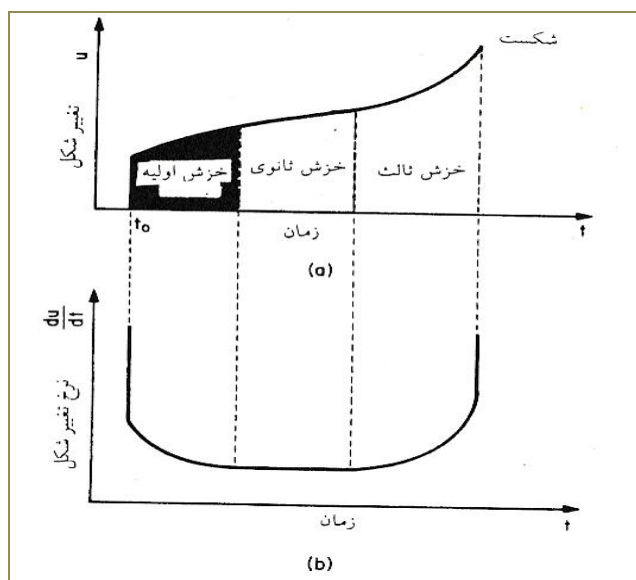
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۲۰

مقدمه

شود [۱]. چنانچه خزش موجب شکست باشد می‌توان سه مرحله مشخص از هم را شناسایی نمود. اولیه، ثانوی و ثالث. همان طوری که شکل ۱ نشان می‌دهد، خزش اولیه شامل ناحیه‌ای است که سرعت تغییر شکل $\frac{du}{dt}$ در آن کند شونده است. ناحیه‌ای که در آن تغییر شکل خزشی تقریباً خطی است، به خزش ثانوی نام‌گذاری شده است و ناحیه‌ای که در آن تغییر شکل شتاب می‌گیرد، خزش ثالث نام دارد. دما، رطوبت ماده و سایر متغیرها عوامل مؤثر در خزش می‌باشند. خزش اولیه استقرار تنش را نشان می‌دهد اما خزش ثالث از اتفاق شکست حکایت می‌کند. خزش ثانوی را می‌توان وضعیت بینابینی در نظر گرفت.

تغییر شکل وابسته به زمان محصول زیر بار به‌عنوان خزش شناخته می‌شود [۱]. چوب و مواد مرکب چوبی به‌عنوان مواد ویسکوالاستیک تحت تأثیر رفتار خزشی هستند، خزش این مواد ترکیبی از تغییر شکل کشسان و جریان گرانی است، که به‌طور عمومی به‌عنوان تغییر شکل ویسکوالاستیک شناخته می‌شود. چوب و پانل‌های چندسازه عموماً در محیط مصرف تحت تأثیر عوامل مختلف چون بار، رطوبت نسبی و دما قرار می‌گیرند و چون ویسکوالاستیک هستند این شرایط بر آن‌ها مؤثر است. خزش یا تغییر مکان در اثر تحمل بار می‌تواند تحت نیروهای مختلف کشش، فشار، برش و یا خمش ایجاد



شکل ۱- رفتار خزش: (a) مراحل خزش، (b) سرعت خزش [۱]

۱ ساعت بازگشت مدل‌سازی نمودند [۳]. Koojima و Yamamoto (۲۰۰۴)، تأثیر رطوبت و زاویه میکروفیبریل‌ها را بر روی خزش کششی طولی چوب بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که افزایش رطوبت و زاویه میکروفیبریلی در راستای هم بر خزش مؤثر می‌باشند [۴]. Koojima و Yamamoto (۲۰۰۵)، تأثیر رطوبت را بر رفتار خزش کششی چوب آغازین *(Cryptomeria Japonica D. Don)* Sugi بررسی نمودند. آزمون‌ها در سه مرحله رطوبتی (خشک‌شده در آون، خشک‌شده در هوای آزاد و نقطه اشباع الیاف) و طیف

Nakano (۱۹۹۹)، خزش خمشی چوب زبان‌گنجشک ژاپنی (*Fraxus mandshurica Rupr*) را در رطوبت نسبی (۲۰-۰) درصد و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد تحت بار ۱/۳۷ نیوتن اندازه‌گیری کرد. نتایج حاکی از آن بود که خزش، رابطه مستقیم با رطوبت و مدت‌زمان بارگذاری دارد و خیز حاصل از تغییرات رطوبت همواره بیشتر از مقدار تغییر مکان در یک شرایط رطوبتی ثابت دارد [۲]. Cai و همکاران (۲۰۰۲)، رفتار خزشی و خزش - بازگشت چهل نمونه کاج جنوبی سالم را در سطح بارگذاری (۶۹-۹۱) درصد حداکثر بار شکست در ۲۳ ساعت، رفت و

زیاد است و به دلیل داشتن الیاف مارپیچی، خاصیت شکاف خوری آن کم و کار با آن مشکل است [۹]. با توجه به گستردگی رویشگاه گونه ممرز و اینکه اطلاعاتی در زمینه رفتار خزشی آن وجود ندارد و ضرورت مصرف صحیح چوب، لازم دیده شد که تحقیق حاضر با هدف بررسی رفتار خزش خمشی چوب ممرز تحت تأثیر سطوح مختلف رطوبت نسبی، بار و همچنین همبستگی بین پارامترهای خزشی و خواص مکانیکی در منطقه رویشگاهی ماشک نوشهر صورت پذیرد.

مواد و روش‌ها

چوب

در این بررسی از ۳ ارتفاع (۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۱۰۰ متری) ۹ اصله درخت نرمال ممرز تقریباً هم‌سن (حدود ۳۰ ساله) انتخاب و ۲۷ گرده‌بینه کاملاً سالم، بدون پوسیدگی با قطر ۲۵ سانتی‌متر و طول ۷۰ سانتی‌متر در ارتفاع برابر سینه قطع شد. ویژگی‌های محیطی، شرایط آب و هوایی رویشگاه و مشخصات درختان در جدول ۱ بیان شده است.

آماده‌سازی نمونه‌ها

گرده‌بینه‌های بریده‌شده در هر ارتفاع به مدت ۲ هفته در انبار سرپوشیده و شرایط محیطی دسته‌بندی و قرار داده شد. ابتدا به ۱۸۰ تخته با ضخامت ۳/۲ سانتی‌متر تبدیل و به صورت چیدمان دستک‌گذاری شده برای مدت دو هفته قرار گرفتند. از هر گرده‌بینه ۱۲ نمونه با ابعاد $41 \times 2/5 \times 2/5$ سانتی‌متر بر طبق استاندارد ۹۴-۱۴۳ ASTM D از قسمت چوب بالغ (حلقه ۱۸ به بعد) آماده شد (در مجموع ۳۲۴ نمونه، ۸۱ نمونه برای آزمون خمش و ۲۴۳ نمونه برای آزمون خزش). نمونه‌ها به مدت حداقل ۳ هفته در اتاق کليماتيزه (رطوبت نسبی ۳۵، ۶۵ و ۹۵ درصد و دمای 20 ± 3 درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت. بعد از متعادل‌سازی، ابتدا آزمایش‌های خمشی سه‌نقطه‌ای جهت تعیین حداکثر بار شکست در ۳ شرایط رطوبت نسبی، سپس آزمایش‌های خزش خمشی چهار نقطه‌ای در ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حداکثر بار شکست در این شرایط کليماتيزه انجام پذیرفت.

گسترده‌ای از زاویه میکروفیبریلی (MFA) انجام گردید. نتایج نشان داد که رفتار خزش کششی طولی بسیار وابسته به رطوبت و زاویه میکروفیبریلی است. در زوایای میکروفیبریلی کوچک، تغییرات خزش در سه مرحله رطوبتی بسیار کم و برای زوایای میکروفیبریلی بزرگ‌تر، این رفتار وسیع‌تر می‌گردد [۵]. Rozyk (۲۰۰۵)، رفتار خزش خمشی چوب برون کاج (*Pinus sylvestris L.*) را در شرایط تغییرات رطوبت نسبی بررسی نمود. بارگذاری در ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲ و ۰/۲۵ درصد حداکثر بار شکست اعمال شد. نتایج حاکی از این بود که خزش نسبی، هم‌زمان با تغییرات رطوبت و افزایش سطح باردهی، زیاد می‌گردد [۶]. Kaboorani و همکاران (۲۰۱۳)، یک روش سریع به‌منظور اندازه‌گیری خزش، به‌واسطه تأثیر هم‌زمان و متقابل بار و رطوبت را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور از یک تحلیل‌کننده مکانیکی - دینامیکی در دو جهت شعاعی و مماسی نمونه‌های گونه افرای قندی در رطوبت نسبی‌های ۳۷، ۶۷ و ۸۳/۹ درصد، تحت بارگذاری ۵، ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد حداکثر بار شکست و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد استفاده نمودند. زمانی که رطوبت نسبی در طول دوره بارگذاری تغییر کرد، تأثیر هم‌زمان بار و رطوبت قابل مشاهده بود. آن‌ها دریافتند که خزش در جهت مماسی بیشتر از جهت شعاعی بود [۷]. Ma و همکاران (۲۰۱۴)، به مقایسه رفتار خزش خمشی تخته‌های روکش لمینت شده بامبو ($BLVL^1$) و تخته لایه بامبو/صنوبر (BPP^2) در طی یک دوره ۹۰ روزه پرداختند. نتایج حاکی از این بود که مقاومت $BLVL$ در مقابل خزش از BPP بیشتر بوده و تحت شرایط متغیر محیطی، تغییر شکل خزشی نسبت به شرایط ثابت، تشدید گردید. آن‌ها همچنین با استفاده از مدل برگر^۳ و مدل قانون توانی^۴، خزش را طی یک دوره ۲ تا ۳ سال برای کامپوزیت‌های ذکرشده تخمین زدند [۸].

ممرز از پهن برگان پراکنده آوند بوده و حدود ۳۳ درصد از حجم جنگل‌های شمال ایران را شامل می‌شود. چوب این درخت، نیمه سخت تا سخت با هم کشیدگی

¹ Bamboo laminated veneer lumber

² Bamboo/Poplar plywood

³ Burger model

⁴ Power law model

جدول ۱- مشخصات سایت رویشی و درختان موردبررسی

رویشگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	بارندگی سالانه (میلی‌متر)	درجه حرارت سالانه (درجه سانتی‌گراد)	نوع خاک	ارتفاع درخت (متر)	قطر درخت (سانتی‌متر)
	۴۰۰	۱۳۴۵	۱۳/۵	Alfisols	۱۷/۶	۲۹
ماشک نوشهر	۸۰۰	۱۳۰۰	۱۱/۵	Alfisols	۱۷/۳	۲۹
	۱۱۰۰	۱۳۰۰	۸/۵	Alfisols	۱۷/۲	۲۸

خواص فیزیکی

قبل از اندازه‌گیری خواص خمشی، نمونه‌هایی بر اساس استاندارد ISO ۳۱۳۱ جهت تعیین رطوبت تعادل چوب ممرز از قسمت بالغ گرده‌بینه‌های برداشت‌شده در هر ارتفاع، تهیه و با توزین آن‌ها در شرایط محیط و بعد از قرارگیری در شرایط کلیماتیزه، رطوبت تعادل نمونه‌ها بر اساس رابطه ۱ اندازه‌گیری شد.

$$Mc = \frac{M_w - M_o}{M_o} \times 100 \quad (1)$$

M_w و M_o وزن نمونه به ترتیب قبل و بعد از قرارگیری در شرایط کلیماتیزه است. سپس خواص فیزیکی چوب ممرز در هر سه کلاس ارتفاعی شامل دانسیته خشک و بحرانی اندازه‌گیری شد. به‌طوری‌که نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آب به‌صورت غوطه‌وری قرار داده شد. بعد از اندازه‌گیری وزن و ابعاد، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آن قرار گرفته و مجدد وزن و ابعاد آن‌ها اندازه‌گیری شد. با استفاده از روابط ۲ و ۳ دانسیته خشک (D_o) و بحرانی (D_b) گونه موردبررسی، محاسبه شد.

$$D_o = \frac{m_o}{v_o} \quad (2)$$

$$D_b = \frac{m_o}{v_w} \quad (3)$$

m_o وزن خشک، v_o حجم خشک و v_w حجم تر تعیین گردید.

خواص خمشی

بر اساس استاندارد ASTM D1۴۳-۹۴ آزمون خمش سه‌نقطه‌ای با ماشین آزمون مکانیکی مدل

Universal PT۲۰L (سرعت بارگذاری ۱/۳ میلی‌متر بر دقیقه) به‌منظور تعیین حداکثر بار خمشی انجام و با استفاده از روابط ۴ و ۵ مدول الاستیسیته^۱ و مدول گسیختگی^۲ موردمحاسبه قرار گرفت.

$$MOE = \frac{\Delta PL^3}{4\Delta dbh^3} \quad (4)$$

$$MOR = \frac{3P_{max}L}{2bh^2} \quad (5)$$

MOE ، مدول الاستیسیته برحسب مگاپاسکال، MOR ، مدول گسیختگی برحسب مگاپاسکال، P_{max} ، حداکثر بار شکست به‌دست‌آمده از آزمون خمش برحسب نیوتن، L ، طول دهانه بارگذاری برحسب میلی‌متر، b ، عرض نمونه برحسب میلی‌متر، h ، ضخامت نمونه برحسب میلی‌متر، $\Delta P = 0.4P_{max} - 0.1P_{max}$ برحسب نیوتن و Δd ، اختلاف میزان تغییر طول نمونه در دونقطه $0.4P_{max}$ و $0.1P_{max}$ برحسب میلی‌متر.

میزان بار اعمال‌شده برحسب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حداکثر بار شکست در سه شرایط رطوبت نسبی در جدول ۲ نشان داده شده است.

خواص خزشی

بعد از انجام آزمون خمشی، بر اساس استاندارد ASTM D ۶۸۱۵-۰۹، آزمون خزش خمشی چهار نقطه‌ای (دو نقطه بارگذاری با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و دو نقطه تکیه‌گاه با فاصله ۳۶ سانتی‌متر) در ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حداکثر بار شکست با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری خزش

¹Elasticity Modulus

²Rupture Modulus

وسط دهانه بارگذاری، تعبیه شده بود، ثبت و تغییر مکان آنی، تغییر مکان بیشینه، بازگشت آنی، تغییر مکان دائمی اندازه‌گیری شد.

خمشی در طی دو دوره زمانی ۱۴ ساعت اعمال بار و ۱۰ ساعت برداشت بار (در مجموع یک شبانه‌روز برای هر نمونه) انجام گردید. میزان جابجایی نمونه‌ها، به وسیله جابجایی سنج مدل Alton با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر که در

جدول ۲- میزان بار اعمال شده در سه سطح رطوبت نسبی

رطوبت نسبی (درصد)	۱۰ درصد حداکثر بار شکست (کیلوگرم)	۲۰ درصد حداکثر بار شکست (کیلوگرم)	۳۰ درصد حداکثر بار شکست (کیلوگرم)
۳۵	۲۸	۵۶	۸۴
۶۵	۲۶	۵۳	۸۰
۹۵	۲۲	۴۴/۵	۶۷

روش تجزیه تحلیل آماری

در این تحقیق، تأثیر رطوبت نسبی و سطح بار بر خواص خمشی و پارامترهای خزش مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر حاصل از اندازه‌گیری صفات چوب بعد از نرمال‌سازی داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار آماری در قالب طرح آنالیز واریانس دوطرفه و در نهایت مقایسه و گروه بندی میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. همچنین همبستگی پیرسون بین پارامترهای خزش با صفات مکانیکی و دانسیته چوب ممرز مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

خواص خمشی

نتایج مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته چوب ممرز در سه سطح رطوبت نسبی در شکل ۲ نشان داده شده است. بیشترین و کمترین میانگین مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته به ترتیب در دو سطح رطوبت نسبی ۳۵ و ۹۵ درصد مشاهده گردید. آزمون تجزیه واریانس نشان داد که رطوبت نسبی تنها تأثیر معنی‌داری بر مدول گسیختگی دارد. جدول دانکن مقادیر مدول گسیختگی را در سه گروه مجزا قرار داده است (شکل ۲- الف). علت افزایش مقاومت‌های مکانیکی در رطوبت نسبی ۳۵ درصد، رابطه معکوس رطوبت نسبی محیط و در نتیجه رطوبت تعادل چوب با مقاومت‌های مکانیکی است [۱۰ و ۱۱] که با نتایج Moosavi و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد [۱۷].

بر اساس مشخصه‌های اندازه‌گیری شده خزش نسبی و مدول خزش بر طبق روابط ۶، ۷ مورد محاسبه قرار گرفت.

تغییر مکان آنی: میزان جابجایی، پس از یک دقیقه بارگذاری

تغییر مکان بیشینه: میزان جابجایی، پس از ۸۴۰ دقیقه بارگذاری

بازگشت آنی: میزان تغییر مکان پس از یک دقیقه حذف بار

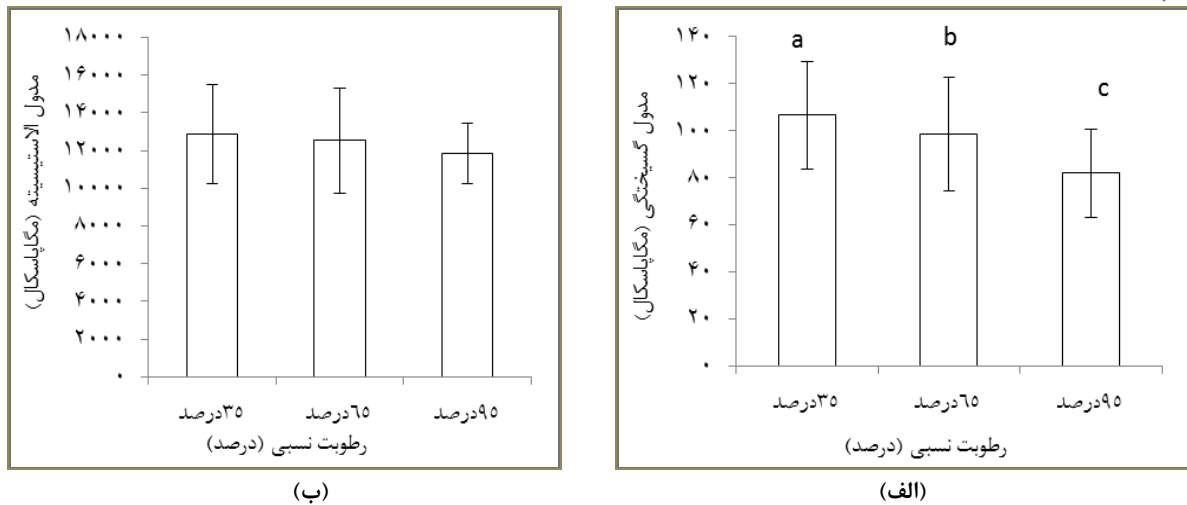
تغییر مکان دائمی: میزان تغییر مکان باقیمانده پس از ۶۰۰ دقیقه حذف بار (بازگشت)

خزش نسبی (R_c): عبارت است از خزش به‌عنوان درصدی از تغییر مکان آنی

$$R_c = \frac{j_t - J_0}{J_0} \times 100 \quad (6)$$

$$E_c = \frac{L^3 F}{4bh^3 J_t} \quad (7)$$

R_c خزش نسبی برحسب درصد، E_c مدول خزش برحسب مگاپاسکال، J_t تغییر مکان در زمان t برحسب میلی‌متر، J_0 تغییر مکان یک دقیقه پس از بارگذاری برحسب میلی‌متر، L طول دهانه بارگذاری برحسب میلی‌متر، F برحسب نیوتن، b عرض نمونه برحسب میلی‌متر و h ضخامت نمونه برحسب میلی‌متر



شکل ۲- اثر مستقل رطوبت نسبی بر مدول گسیختگی (الف) و مدول الاستیسیته (ب) چوب ممرز

خزش - بازگشت

اثر سطوح رطوبت نسبی بر خزش - بازگشت در شکل ۳ (الف) نشان داده شده است. تا ۶۰۰ دقیقه بعد از بارگذاری، منحنی خزش - بازگشت در رطوبت نسبی ۶۵ درصد بالاترین و از این زمان به بعد با نمودار خزش - بازگشت در رطوبت نسبی ۹۵ درصد اختلاف محسوسی دارند. در مدت زمان بارگذاری پایین ترین منحنی خزش - بازگشت در رطوبت نسبی ۳۵ درصد مشاهده گردید. در زمان بازگشت، بالاترین و پایین ترین منحنی خزش - بازگشت به ترتیب در رطوبت نسبی ۹۵ و ۶۵ درصد نشان داده شده است. در اثر سطوح بار بر خزش - بازگشت، بالاترین و پایین ترین منحنی خزش - بازگشت با اختلاف جزئی به ترتیب در ۳۰ و ۱۰ درصد حداکثر بار شکست تشکیل گردید (شکل ۳ - ب). با توجه به تأثیر مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی بر رفتار خزشی مواد [۷]، بالاتر قرار گرفتن نمودار خزش - بازگشت نمونه های چوب ممرز حاصل از رطوبت نسبی ۹۵ درصد می تواند ناشی از نقصان خواص خمشی در این ارتفاع باشد و پایین تر قرار گرفتن نمودار در رطوبت نسبی ۳۵ درصد نیز می تواند ناشی از افزایش مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی در این کلاس ارتفاعی باشد. رابطه معکوس رطوبت نسبی محیط با خصوصیات مکانیکی [۱۳] سبب شد که با افزایش رطوبت نسبی

آزمون خزش

پارامترهای خزش

بیشترین میانگین تغییر مکان آنی (۲/۳۳ میلی متر) و تغییر مکان بیشینه (۲/۶۷ میلی متر) در رطوبت نسبی ۶۵ درصد و ۳۰ درصد حداکثر بار شکست، همچنین بیشترین میانگین بازگشت آنی (۰/۹۴ میلی متر) و تغییر مکان دائمی (۰/۵۷ میلی متر) در رطوبت نسبی ۹۵ درصد و ۳۰ درصد حداکثر بار شکست مشاهده گردید (جدول ۳). نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر مستقل سطوح بار و رطوبت نسبی و همچنین تأثیر متقابل رطوبت نسبی × بار بر تغییر مکان آنی، تغییر مکان بیشینه، بازگشت آنی و تغییر مکان دائمی معنی دار بود (جدول ۴).

ارتباط بین خواص فیزیکی و مکانیکی با

پارامترهای خزش

بعد از نرمال سازی داده ها، با استفاده از همبستگی پیرسون، ارتباط بین خواص فیزیکی و مکانیکی چوب ممرز با پارامترهای خزش در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که مدول الاستیسیته، دانسیته خشک و دانسیته بحرانی با تغییر مکان آنی و تغییر مکان بیشینه همبستگی معکوس معنی دار دارد. همچنین همبستگی معنی داری بین خواص فیزیکی و مکانیکی با بازگشت آنی و تغییر مکان دائمی نشان داده نشده است.

همکاران (۲۰۱۳) و Rammer (۲۰۱۰) می‌توان با افزایش سطح بارگذاری (۳۰ درصد حداکثر بار شکست) بیشترین تغییر مکان را شاهد بود که با نتایج Moosavi و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد [۱۷].

محیط و در نتیجه رطوبت تعادل چوب، مقاومت‌های مکانیکی چوب کاهش و میزان پارامترهای خزش نیز افزایش می‌یابد که با نتایج Zhan و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد. همچنین بر اساس نتایج Kaboorani و

جدول ۳- مقادیر تغییر مکان خزشی چوب ممرز در سه سطح رطوبت نسبی و بار

ارتفاع از سطح دریا (متر)	دانسیته خشک (کیلوگرم بر مترمکعب)	دانسیته بحرانی (کیلوگرم بر مترمکعب)	رطوبت نسبی (درصد)	رطوبت تعادل (درصد)	سطح بار (درصد)	تغییر مکان آنی (میلی‌متر)	تغییر مکان بیشینه (میلی‌متر)	بازگشت آنی (میلی‌متر)	تغییر مکان دائمی (میلی‌متر)
۰					۱۰	۰/۳۳	۰/۳۸	۰/۰۴	۰/۰۲
۲۰			۳۵	۲۷	۲۰	۰/۷۷	۰/۸۳	۰/۱۳	۰/۱۱
۳۰					۳۰	۱/۰۲	۱/۱۱	۰/۳۹	۰/۱۸
۴۰۰	۶۲۷/۸۵	۷۲۰/۸۹	۶۵	۳۰	۲۰	۰/۸۶	۰/۹۵	۰/۱۲	۰/۰۵
					۳۰	۱/۴۷	۱/۶۱	۰/۰۹	۰/۰۲
					۱۰	۰/۳۹	۰/۵۳	۰/۱۴	۰/۰۶
			۹۵	۳۴	۲۰	۰/۸۳	۱/۰۰	۰/۱۸	۰/۰۹
					۳۰	۱/۱۴	۱/۶۴	۰/۴۸	۰/۳۴
					۱۰	۰/۴۷	۰/۶۵	۰/۱۵	۰/۰۵
			۳۵	۲۷	۲۰	۱/۰۲	۱/۰۹	۰/۲۴	۰/۱۲
					۳۰	۱/۳۶	۱/۶۹	۰/۲۶	۰/۱۴
					۱۰	۰/۷۰	۰/۷۸	۰/۰۹	۰/۰۶
۸۰۰	۵۴۹/۴۶	۶۲۸/۰۹	۶۵	۳۰	۲۰	۱/۰۹	۱/۲۶	۰/۲۱	۰/۰۸
					۳۰	۲/۳۳	۲/۶۷	۰/۲۱	۰/۰۳
					۱۰	۰/۵۴	۰/۶۵	۰/۰۷	۰/۰۳
			۹۵	۳۵	۲۰	۱/۰۳	۱/۳۱	۰/۲۸	۰/۱۲
					۳۰	۱/۸۵	۲/۴۹	۰/۹۴	۰/۵۷
					۱۰	۰/۲۸	۰/۳۷	۰/۰۷	۰/۰۳
			۳۵	۲۶	۲۰	۰/۷۴	۰/۷۹	۰/۱۳	۰/۰۶
					۳۰	۱/۰۸	۱/۳۵	۰/۲۳	۰/۰۵
					۱۰	۰/۳۱	۰/۳۷	۰/۰۴	۰/۰۲
۱۱۰۰	۵۸۷/۳۶	۶۷۹/۰۶	۶۵	۲۹	۲۰	۰/۸۶	۰/۹۸	۰/۰۶	۰/۰۱
					۳۰	۱/۴۵	۱/۶۴	۰/۱۱	۰/۰۲
					۱۰	۰/۴۲	۰/۵۶	۰/۱۱	۰/۰۷
			۹۵	۳۳	۲۰	۰/۸۸	۱/۰۵	۰/۴۴	۰/۰۸
					۳۰	۱/۰۷	۱/۳۴	۰/۲۹	۰/۱۵

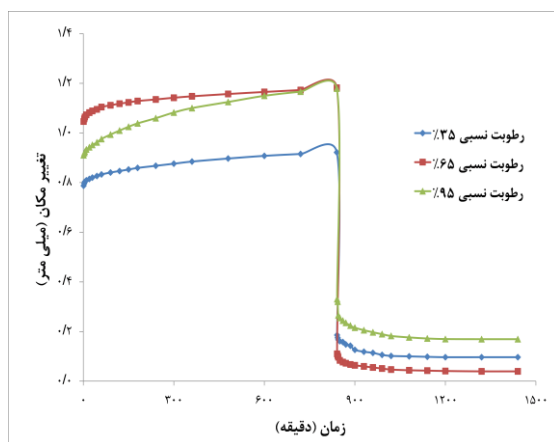
جدول ۴- تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل مورد مطالعه بر پارامترهای خزش

پارامترهای خزش	منابع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی داری
تغییر مکان آنی	رطوبت نسبی	۰/۸۸	۲	۰/۴۴۴	۱۴/۸۰۳	۰/۰۰
	بار	۱۳/۶۱	۲	۶/۸۰۸	۲۲۶/۹۲۶	۰/۰۰
	رطوبت×بار	۰/۸۶۰	۴	۰/۲۱۵	۷/۱۶۳	۰/۰۰
تغییر مکان بیشینه	رطوبت نسبی	۱/۲	۲	۰/۶۰۲	۱۲/۶۲۲	۰/۰۰
	بار	۱۹/۹۵	۲	۹/۹۷	۲۰۹/۰۷۴	۰/۰۰
	رطوبت×بار	۰/۷۶	۴	۰/۱۹۰	۳/۹۸۰	۰/۰۰۷
بازگشت آنی	رطوبت نسبی	۰/۶۷	۲	۰/۳۳۶	۱۱/۵۵۴	۰/۰۰
	بار	۰/۸۲	۲	۰/۴۱۳	۱۴/۱۷	۰/۰۰
	رطوبت×بار	۰/۳۶	۴	۰/۰۹۲	۳/۱۶	۰/۰۲۱
تغییر مکان دائمی	رطوبت نسبی	۰/۲۲۸	۲	۰/۱۱۴	۱۱/۸۳۷	۰/۰۰
	بار	۰/۲۲۰	۲	۰/۱۱۰	۱۱/۴۱۸	۰/۰۰
	رطوبت×بار	۰/۳۰۲	۴	۰/۰۷۶	۷/۸۴۰	۰/۰۰

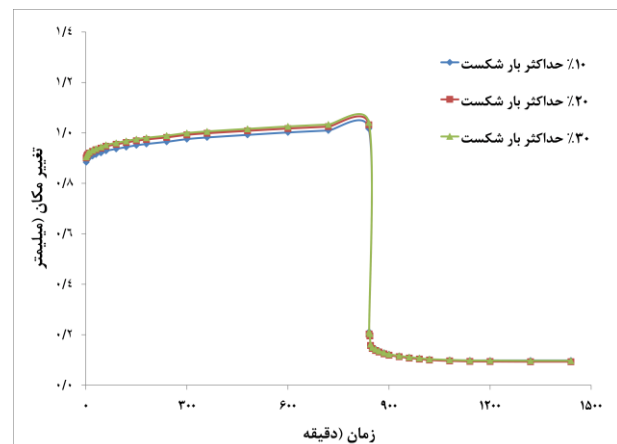
جدول ۵- ارتباط بین خواص فیزیکی و مکانیکی چوب ممرز با پارامترهای خزش

پارامترهای خزش	مدول الاستیسیته	مدول گسیختگی	دانسیته خشک	دانسیته بحرانی
تغییر مکان آنی	-۰/۲۴۲*	-۰/۱۹۵	-۰/۲۸۵*	-۰/۲۹۹**
تغییر مکان بیشینه	-۰/۲۴۳*	-۰/۲۰۲	-۰/۲۹۴**	-۰/۳۰۷**
بازگشت آنی	-۰/۱۸۴	-۰/۲۰۹	-۰/۱۰۹	-۰/۱۰۷
تغییر مکان دائمی	-۰/۱۵۲	-۰/۲۱۷	-۰/۰۷۳	-۰/۰۸۰

* - معنی داری در سطح ۹۵ درصد، ** - معنی داری در سطح ۹۹ درصد



(ب)



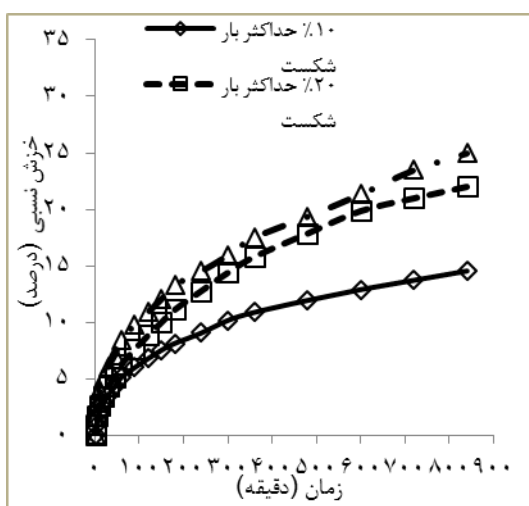
(الف)

شکل ۳- منحنی خزش - بازگشت نمونه‌های چوب ممرز در سه سطح رطوبت نسبی (الف) و بار (ب)

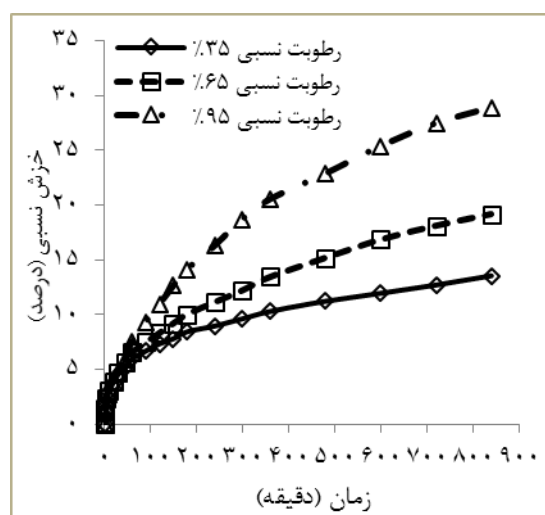
خزش نسبی

به‌طور کلی، خزش نسبی شاخصی از سازوکار مهندسی وابسته به زمان است و به‌طور معمول برای مقایسه سازوکار خزشی، مواد مختلف با مدول الاستیسیته‌های متفاوت به کار برده می‌شود [۱]. اثر سطوح رطوبت نسبی و بار بر

خزش نسبی نمونه‌های چوب ممرز در شکل ۴ نشان داده شده است. بالاترین و پایین‌ترین منحنی خزش نسبی به ترتیب در دو سطح رطوبت نسبی ۹۵ و ۳۵ درصد و دو سطح بارگذاری ۳۰ و ۱۰ درصد حداکثر بار شکست تعیین گردید.



(ب)



(الف)

شکل ۴- منحنی خزش نسبی نمونه‌های چوب ممرز در سه سطح رطوبت نسبی (الف) و بار (ب)

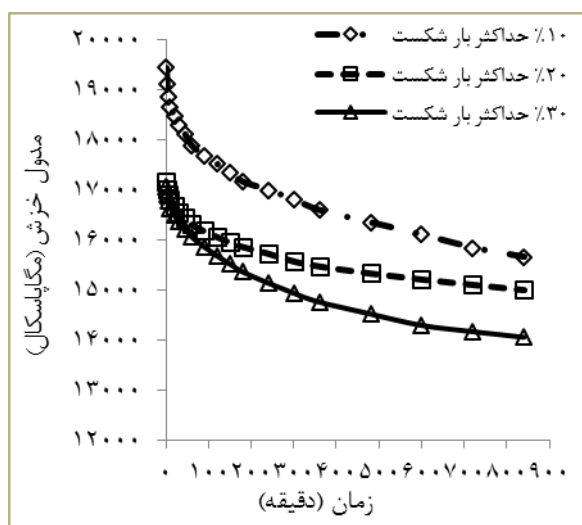
(۲۰۱۰) و Moosavi و همکاران (۲۰۱۶) نیز مطابقت دارد [۱۶ و ۱۷].

نتایج خزش نسبی درست عکس نتایج مدول خزش حاصل شده است، بطوریکه با افزایش رطوبت نسبی محیط (۹۵ درصد) و رطوبت تعادل چوب، مقاومت‌های خمشی کاهش یافته، در نتیجه پارامترهای خزش افزایش و منحنی خزش نسبی در بالاترین سطح تشکیل گردیده است (شکل ۴ - الف) که با نتایج Dong و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد [۱۸]. همچنین همبستگی مستقیم سطح بارگذاری با پارامترهای خزش سبب شد که بالاترین منحنی خزش نسبی در بالاترین سطح بارگذاری (۳۰ درصد حداکثر بار شکست) تشکیل گردد (شکل ۴ - ب) که با نتایج Najafi و Kazemi Najafi (۲۰۰۹) مطابقت دارد [۱۹].

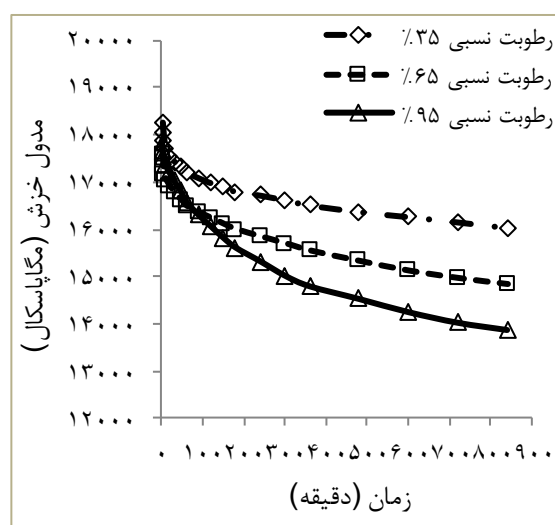
مدول خزش

شکل ۵ (الف) منحنی‌های مدول خزش در سه سطح رطوبت نسبی ذکر شده را نشان می‌دهد. مدول خزش با گذشت زمان کاهش می‌یابد. در تمام مدت زمان بارگذاری بالاترین و پایین‌ترین منحنی مدول خزش به ترتیب در دو سطح رطوبت نسبی ۳۵ و ۹۵ درصد مشاهده شد. در اثر سطوح بار بر مدول خزش، بالاترین و پایین‌ترین منحنی مدول خزش نیز به ترتیب در ۱۰ و ۳۰ درصد حداکثر بار شکست مشاهده گردید (شکل ۵ - ب).

همبستگی مستقیمی بین خواص خمشی با مدول خزش [۴]، سبب شد که با افزایش مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته در رطوبت نسبی ۳۵ درصد، منحنی مدول خزش در این سطح رطوبت نسبی بالاتر قرار گیرد (شکل ۵ - الف) که با نتایج Taniguchi and Ando



(ب)



(الف)

شکل ۵- منحنی مدول خزش نمونه‌های چوب ممرز در سه سطح رطوبت نسبی (الف) و بار (ب)

دانسیته بحرانی با تغییر مکان آبی و تغییر مکان بیشینه وجود دارد.

- منحنی خزش - بازگشت در رطوبت نسبی ۶۵ درصد تا ۶۰۰ دقیقه بعد از بارگذاری، بالاترین و از این زمان به بعد با نمودار خزش - بازگشت در رطوبت نسبی ۹۵ درصد اختلاف محسوسی دارند. در مدت زمان بارگذاری پایین‌ترین منحنی خزش - بازگشت در رطوبت نسبی ۳۵ درصد مشاهده گردید. در زمان بازگشت، بالاترین و پایین‌ترین منحنی خزش - بازگشت به ترتیب در رطوبت نسبی ۹۵ و ۶۵ درصد نشان داده شده است.

- در اثر سطوح بار بر خزش - بازگشت، بالاترین و پایین‌ترین منحنی خزش - بازگشت با اختلاف جزئی به ترتیب در ۳۰ و ۱۰ درصد حداکثر بار شکست تشکیل گردید.

- بالاترین و پایین‌ترین منحنی خزش نسبی به ترتیب در دو سطح رطوبت نسبی ۹۵ و ۳۵ درصد و هم به ترتیب در دو سطح بارگذاری ۳۰ و ۱۰ درصد حداکثر بار شکست مشاهده گردید.

- بالاترین و پایین‌ترین منحنی مدول خزش به ترتیب در دو سطح رطوبت نسبی ۳۵ و ۹۵ درصد و هم به ترتیب در ۱۰ و ۳۰ درصد حداکثر بار شکست تشکیل گردید.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر سطوح رطوبت نسبی ۳۵، ۶۵ و ۹۵ درصد و بارگذاری ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حداکثر بار شکست بر رفتار خزش خمشی گونه ممرز برداشت شده از طرح جنگلداری ماشلک نوشهر در سه کلاسه ارتفاع ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۱۰۰ متری از سطح دریا انجام گردید و نتایج زیر حاصل شد.

- بالاترین و پایین‌ترین میانگین مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته به ترتیب در دو سطح رطوبت نسبی ۳۵ و ۹۵ درصد مشاهده گردید، همچنین رطوبت نسبی تنها تأثیر معنی‌داری بر مدول گسیختگی نشان داد.

- بیشترین میانگین تغییر مکان آبی و تغییر مکان بیشینه، در رطوبت نسبی ۶۵ و ۳۰ درصد حداکثر بار شکست، بیشترین بازگشت آبی و تغییر مکان دائمی در رطوبت نسبی ۹۵ درصد و ۳۰ درصد حداکثر بار شکست ثبت گردید.

- مطابق با نتایج آزمون تجزیه واریانس، تأثیر مستقل سطوح رطوبت نسبی و بار و تأثیر متقابل رطوبت نسبی × بار بر پارامترهای خزش در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود.

- همبستگی پیرسون نشان داد که همبستگی معکوس و معنی‌داری بین مدول الاستیسیته، دانسیته خشک و

منابع

- [1] Ebrahimi, Gh., 2013. Mechanics of wood and wood composites. Tehran university publications, Tehran, Iran: 181-236.
- [2] Nakano, T., 1999. Analysis of creep of wood during water adsorption based on the excitation response theory. Journal of wood science, 45(1): 19-23.
- [3] Cai, Z., Fridley, K.J., Hunt, M.C. and Rosowsky, D.V., 2002. Creep and creep – recovery models for wood under high stress levels. Wood and Fiber Science, 34(3): 425-433.
- [4] Kojima, Y. and Yamamoto, H., 2004. Effect of microfibril angle on the longitudinal tensile creep behaviour of wood. Journal of Wood Science, 50 (4): 301-306.
- [5] Kojima, Y. and Yamamoto, H., 2005. Effect of moisture content on the longitudinal tensile creep behaviour of wood. Journal of Wood Science, 51(5): 462-467.
- [6] Roszyk, E., 2005. Effect of bending stresses on the wood creep in conditions of asymmetric changes in moisture content. Folia Forestalia Polonica, Series B, 36: 15–26.
- [7] Kaboorani, A., Blanchet, P., and Laghdir, A., 2013. A rapid method to assess viscoelastic and mechano-sorptive creep in wood. Wood and fiber science, 45(4):370-382.
- [8] Ma, X., Wang, G., Jiang, Z., Xian, Y. and Li, H., 2014. Comparison of bending creep behaviour bamboo-based composites manufactured by two types of stacking sequences. Bioresources 9(3): 5461-5472.
- [9] Kiaei, M., 2012. Effect of site and elevation on wood density and shrinkage and their relationships in *Carpinus betulus*, For. Stud. China, 14(3): 229-234.
- [10] Ishimaru, Y., Oshima, K., and Iida, I., 2001. Changes in the mechanical properties of wood during a period of moisture conditioning. Journal of Wood Science, 47(4):254-261.
- [11] Obataya, E., Norimoto, M. and Gril, J., 1998. The effects of adsorbed water on dynamic mechanical properties of wood. Polymer (Guildf), 39(14):3059-3064.
- [12] Sayed-Ahmed, M. and Sennah, K., 2013. Effect of Temperature and Relative Humidity on Creep Deflection for Permanent Wood Foundation Panels. Montréal, Québec, Canadian Society for Civil Engineering, pp. 1-10.
- [13] Zhan, J.F., Gu, J.Y. and Shi, S.Q., 2009. Rheological behaviour of larch timber during conventional drying. Drying Technology, 27(10): 1041-1050.
- [14] Zhan, J.F., Gu, J.Y. and Ai, M.Y., 2004. The preliminary study on drying process traverse strains of Asian with pith. Scientia Silvae Sinicae, 40(5): 174-179.
- [15] Rammer, D. R., 2010. Wood handbook: wood as an engineering material, General Technical Report FPL–GTR–190, Madison, Wisconsin: Forest Products Laboratory.
- [16] Taniguchi, Y. and Ando, K., 2010: Time dependence of Poisson's effect in wood: Volume change during uniaxial tensile creep. Journal of Wood Science, 56(2): 100-106.
- [17] Moosavi, V., Khademi Eslam, H., Bazayr, B., Najafi, A. and Talaee poor, M., 2016. Bending Creep Behavior of Hornbeam Wood. Drvna Industrija, 67(4): 341-350.
- [18] Dong, F., Olsson, A. M. and Salmen, L., 2010: Fiber morphological effects on mechano-sorptive creep. Wood Science and Technology, 44(3): 475-483.
- [19] Najafi, A. and Kazemi Najafi, S., 2009. Effect of load levels and plastic type on creep behavior of wood sawdust/HDPE composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 28(21): 2645-2653.

The effect of load and relative humidity on bending creep behaviour of hornbeam in three altitudes (Case study: Nowshahr Meshelak habitat)

Abstract

This study aimed to investigate the effect of load and relative humidity on the bending creep behaviour of hornbeam lumber (*Carpinus betulus*) in three altitudes. For this purpose, nine hornbeam trees at altitudes of 400, 800 and 1100 meters above sea level were selected from the forestry projects of Meshelak Nowshahr. From mature wood at breast height diameter of trees, 324 clear samples were cut. The prepared samples with the dimensions of $2.5 \times 2.5 \times 41$ cm were conditioned in a room with the temperature of 20 C and relative humidity (RH) of 35, 65 and 95 %. After three weeks of conditioning, three points bending test was done for determining the maximum of bending load on 81 samples. 10, 20 and 30% maximum of bending load (MBL) were measured and then four points bending creep test was measured for determining creep parameters on 243 samples at times period of 14 hours loading and 10 hours unloading in acclimatized room conditions. Finally, creep/recovery, creep modulus and relative creep of samples were calculated. Results indicated that the effects of load and relative humidity on creep parameters was significant; the maximum and the minimum relative creep were observed in 95 and 35% RH, respectively and the maximum and the minimum creep modulus were observed in 35 and 95% RH, respectively. The maximum and minimum relative creeps were observed in 30 and 10% MBL, respectively and the maximum and minimum creep modulus were observed in 10 and 30% MBL, respectively. Results also showed that the increasing of bending properties caused a decrease in the creep parameters.

Key words: hornbeam, altitude, load, relative humidity, creep/recovery, creep modulus, relative creep.

V. Moosavi^{1*}
A. Najafi²
M. Kiaie³

¹ Assistant Prof., Department of wood science and paper technology, Chalous branch, Islamic Azad university, Chalous, Iran

² Associate Prof., Department of wood science and paper technology, Chalous branch, Islamic Azad university, Chalous, Iran

³ Associate Prof., Department of wood science and paper technology, Chalous branch, Islamic Azad university, Chalous, Iran

Corresponding author:
valiullahmousavi@gmail.com

Received: 2017/06/01
Accepted: 2017/08/11