

## بررسی تأثیر ارتفاع از سطح دریا بر رفتار خزش خمشی چوب ممرز [مطالعه موردی، ریشگاه ماشلک نوشهر]

ولی‌الله موسوی<sup>۱</sup>  
حیب‌الله خادمی‌اسلام<sup>۲\*</sup>  
بهزاد بازیار<sup>۳</sup>  
عبدالله نجفی<sup>۴</sup>  
محمد طلایی‌پور<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

<sup>۳</sup> استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

<sup>۴</sup> دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، چالوس، ایران

<sup>۵</sup> استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

مسئول مکاتبات:

[hkhademieslam@gmail.com](mailto:hkhademieslam@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۸/۰۳

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۲۵

### چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف ارتفاع از سطح دریا، بر رفتار خزش خمشی چوب ممرز (*Carpinus Betuluse*) انجام گرفت. بدین منظور ۹ درخت در ۳ کلاسه ارتفاعی ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۱۰۰ متری از سطح دریا از طرح جنگلداری ماشلک نوشهر انتخاب گردید. ۵۴ نمونه کاملاً سالم به ابعاد ۲/۵×۲/۵×۴۱ سانتی‌متر از چوب بالغ گرده‌بینه‌های بریده‌شده در ارتفاع برابر سینه، تهیه و در اتاق کلیماتیزه با شرایط رطوبت نسبی ۶۵ درصد و دمای ۳±۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. بعد از ۳ هفته متعادل‌سازی، خزش نسبی و مدول خزش نمونه‌ها در ۲۰ درصد حداکثر بار شکست با استفاده از آزمون خزش خمشی چهار نقطه‌ای در همان شرایط اتاق کلیماتیزه اندازه‌گیری شد. نتایج حاکی از آن بود که، تأثیر ارتفاع از سطح دریا بر پارامترهای خزش معنی‌دار است بطوریکه بالاترین و پایین‌ترین خزش نسبی به ترتیب در دو ارتفاع ۸۰۰ و ۴۰۰ متر و بالاترین و پایین‌ترین مدول خزش به ترتیب در دو کلاسه ارتفاعی ۴۰۰ و ۸۰۰ متری از سطح دریا مشاهده شد. نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع از سطح دریا تأثیر معنی‌داری بر مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته دارد، همچنین افزایش آن‌ها موجب کاهش پارامترهای خزش گردید.

**واژگان کلیدی:** ممرز، ارتفاع از سطح دریا، خزش نسبی، مدول خزش.

### مقدمه

چوب در محیط مصرف تحت تنش‌های مختلفی قرار می‌گیرد، پیش‌بینی میزان این نیروها در طراحی سازه‌های چوبی به مصرف بهینه و افزایش عمر سازه ساخته‌شده کمک شایانی می‌نماید. چوب در مصارف مختلف تحت بارهای مختلفی از جمله بارهای خمشی قرار گرفته و جابجا

می‌شود- به اصطلاح خیز - برمی‌دارد، در اثر استمرار و تکرار این امر، شکست در آن رخ می‌دهد. شکست تحت بار به‌عنوان یک پارامتر مهم برای چوب و فرآورده‌های مرکب چوبی است و در ساختار طولانی‌مدت آن نقش بسزایی را ایفا می‌کند. شکست یک اثر ترکیبی از دو فاکتور شکست الاستیک و خزش است. خزش یک رفتار رئولوژیک است و

که با افزایش رطوبت میزان تغییر طول خزشی بیشتر گردید [۱۲].

Liu (۱۹۹۳)، به بررسی تأثیر هم‌زمان و متقابل بار و رطوبت بر رفتار خزش خمشی چوب کاج پرداخت. خزش به‌طور خطی وابسته به میزان بارگذاری در کمتر از ۳۰ درصد حداکثر بار شکست، بود و در بالاتر از آن روابط غیرخطی گردید. تأثیر متقابل و هم‌زمان بار و رطوبت در بارهای بزرگ‌تر بیشتر از بارهای کوچک‌تر مشاهده شد، بعلاوه خزش ناشی از تأثیر متقابل رطوبت و بار در رطوبت کم، ناچیز و در رطوبت‌های بالا، بیشتر گردید [۱۳].

Nakano (۱۹۹۹)، نیز به بررسی خزش در نمونه‌های گونه چوبی زبان‌گنجشک ژاپنی (*Fraxus mandshurica*) با ابعاد  $۹۰ \times ۸ \times ۲$  میلی‌متر در رطوبت نسبی (۲۰-۰) درصد و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد تحت بار  $۱/۳۷$  نیوتن بر اساس تئوری جذب آب پرداخت. به‌منظور نگهداری نمونه‌ها در شرایط رطوبتی معین از فیلم پلی-اتیلن استفاده شد. 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 [۱۴].

Kaboarani 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  $۴۰ \times ۵ \times ۱$  میلی‌متر گونه افرای قندی در رطوبت نسبی‌های ۳۷، ۶۷ و ۸۲/۹ 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. آن‌ها گزارش کردند که از تحلیل‌کننده مکانیکی - دینامیکی به‌عنوان یک ابزار سریع و دقیق در جهت اندازه‌گیری رفتار خزشی چوب در دوره‌های زمانی و سطوح بار مختلف می‌توان استفاده کرد [۵].

ممرز از پهن برگان پراکنده آوند بوده و حدود ۳۳٪ از حجم جنگل‌های شمال ایران را شامل می‌شود. چوب این

رئولوژی عبارت است از مطالعه وابسته به زمان تنش و تغییر طول نسبی مواد. به‌طور کلی، تغییر شکل وابسته به زمان محصول زیر بار به‌عنوان خزش شناخته می‌شود. با گذشت زمان ممکن است تغییر شکل خزشی از مقدار معینی در سازه‌ها بیشتر شده و سبب شکست شود. در بارگذاری کوتاه و بلندمدت در نظر گرفتن خزش و گسیختگی خزش (رفتار استمرار بار) در پانل‌های چندسازه ی چوبی امری اجتناب‌ناپذیر است و طراحی مهندسی باید بر اساس حد گسیختگی همراه با پیش‌بینی دقیق آن انجام شود [۱].

چوب و مواد مرکب چوبی به‌عنوان مواد ویسکوالاستیک تحت تأثیر رفتار خزشی هستند، خزش این مواد ترکیبی از تغییر شکل کشسان و جریان گرانیروی است که به‌طور عمومی تغییر شکل ویسکوالاستیک شناخته می‌شود. خزش یا تغییر مکان در اثر تحمل بار می‌تواند تحت تأثیر نیروهای مختلف کشش، فشار، برش و خمش ایجاد شود [۱]. در این بررسی اثر یکی از نیروهای یادشده یعنی خمش مطالعه می‌شود، بنابراین از آن به‌عنوان رفتار خزش خمشی یاد 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 [۲-۳]. درجه حرارت بالا و تغییرات رطوبت، چوب را مستعد خزش نموده و می‌تواند منجر به مشکلات کاهش مقاومت و قابلیت استفاده آن گردد [۴].

تأثیر تغییرات رطوبت بر تغییر شکل چوب بیشتر از زمانی است که در یک شرایط رطوبتی ثابت باشد. خزش به‌واسطه تأثیر هم‌زمان و متقابل بار و تغییرات رطوبت در استفاده ساختمان‌های چوب بسیار مهم بوده و سبب شکست و تغییر شکل در تیرهای چوبی می‌گردد، از این‌رو این اثر طی مقالات مختلفی گزارش شده است [۵-۱۱].

Meiri و Bazant (۱۹۸۵)، آزمایش خزش فشاری تک‌محوری را بر روی نمونه لوله‌ای توخالی گونه کاج انجام دادند. علت توخالی بودن نمونه‌ها، تبادل سریع رطوبت بود. رطوبت در دو حالت ۵۲ و ۱۰۰ درصد و دما در ۳۵ درجه سانتی‌گراد کنترل شد، نتایج حاکی از تغییرات مقدار خزش به‌صورت هم‌زمان با تغییرات رطوبت بود، به‌گونه‌ای

## مواد و روش‌ها

### چوب

در انجام این تحقیق، در هر ارتفاع (۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۱۰۰ متری) ۳ اصله درخت نرمال ممرز تقریباً هم‌سن (حدود ۳۰ ساله) انتخاب و ۹ 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.

درخت، نیمه سخت تا سخت با هم‌کشیدگی زیاد است و به دلیل داشتن الیاف ماریچی، خاصیت شکاف خوری آن کم و کار با آن مشکل است [۱۵]. با توجه به گستردگی این‌گونه و ضرورت مصرف صحیح آن لازم است که تمرکز بیشتری بر آن صورت گیرد. هدف از این تحقیق بررسی میزان خزش در ارتفاع‌های مختلف از سطح دریا در شرایط ثابت (رطوبت نسبی ۶۵ درصد و بارگذاری ۲۰ درصد حداکثر بار شکست) بوده تا بتوان بهترین شرایط را در هنگام استفاده چوب در مصارف مختلف اعمال نمود و میزان خزش در یک حد بهینه باشد.

جدول ۱- مشخصات سایت رویشی [۱۵] و درختان مورد بررسی

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

از قرارگیری در شرایط کليماتيزه، 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 کليماتيزه 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 مورد بررسی، محاسبه شد.

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

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

### آماده‌سازی نمونه‌ها

گرده‌بینه‌های بریده‌شده در هر ارتفاع به مدت ۲ هفته در انبار سرپوشیده و شرایط محیطی دسته‌بندی و قرار داده شد. ابتدا به ۴۵ تخته با ضخامت ۳/۲ سانتی‌متر تبدیل و به‌صورت چیدمان دستک گذاری شده برای مدت دو هفته قرار گرفتند. از هر گرده‌بینه در هر ارتفاع ۶ نمونه با ابعاد  $41 \times 2/5 \times 2/5$  سانتی‌متر بر طبق استاندارد ۹۴-ASTM D ۱۴۳ از قسمت چوب بالغ (حلقه ۱۸ به بعد) آماده شد (درمجموع ۵۴ نمونه، ۲۷ نمونه برای آزمون خمش و ۲۷ نمونه برای آزمون خزش). نمونه‌ها به مدت حداقل ۳ هفته در اتاق کليماتيزه (رطوبت نسبی ۶۵ درصد و دمای  $20 \pm 3$  درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت. سپس بعد از متعادل‌سازی، آزمایش‌ها خمشی و خزشی در این شرایط کليماتيزه انجام پذیرفت.

### خواص فیزیکی

قبل از اندازه‌گیری خواص خمشی، نمونه‌هایی بر اساس استاندارد ISO ۳۱۳۱ با ابعاد  $2/5 \times 2/5 \times 2$  سانتی‌متر از قسمت چوب بالغ گرده‌بینه‌های برداشت‌شده در هر ارتفاع، تهیه و با توزین آن‌ها در شرایط محیط و بعد

$$MOE = \frac{\Delta PL^3}{4\Delta dbh^3} \quad (۴)$$

$$MOR = \frac{3P_{\max}L}{2bh^2} \quad (۵)$$

$MOE$ ، مدول الاستیسیته برحسب مگا پاسکال،  
 $MOR$ ، مدول گسیختگی برحسب مگا پاسکال،  $P_{\max}$ ،  
 حداکثر بار شکست به دست آمده از آزمون خمشی برحسب  
 نیوتن،  $L$ ، طول دهانه بارگذاری برحسب میلی متر،  $b$ ،  
 عرض نمونه برحسب میلی متر،  $h$ ، ضخامت نمونه برحسب  
 میلی متر،  $\Delta P = 0.4P_{\max} - 0.1P_{\max}$  برحسب نیوتن و  
 $\Delta d$ ، اختلاف میزان تغییر طول نمونه در دونقطه  
 $0.1P_{\max}$  و  $0.4P_{\max}$  برحسب میلی متر.

### خواص خزشی

بعد از انجام آزمون خمشی، بر اساس استاندارد ۰۹-  
 ASTM D ۶۸۱۵، آزمون خزش خمشی با چهار نقطه  
 بارگذاری (دونقطه بارگذاری بافاصله ۲۰ سانتی متر و  
 دونقطه تکیه گاه با فاصله ۳۶ سانتی متر) در ۲۰ درصد  
 حداکثر بار شکست با استفاده از دستگاه اندازه گیری خزش  
 خمشی در طی دو دوره زمانی ۱۴ ساعت اعمال بار و ۱۰  
 ساعت برداشت بار (در مجموع یک شبانه روز برای هر  
 نمونه) انجام گردید. میزان جابجایی نمونه ها، به وسیله  
 جابجایی سنج مدل Alton با دقت ۰/۰۱ میلی متر که در  
 وسط دهانه بارگذاری، تعبیه شده بود، ثبت و تغییر مکان  
 آنی، تغییر مکان بیشینه، بازگشت آنی، تغییر مکان دائمی  
 اندازه گیری شد. بر اساس مشخصه های اندازه گیری 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)

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

### خواص بیومتری

از روش Franklin (۱۹۴۶) برای جداسازی الیاف  
 استفاده گردید. به منظور مشاهده الیاف و همچنین اندازه-  
 گیری ابعاد آن ها (طول، قطر و ضخامت فیبر)، خرده های  
 چوب گونه ممرز به اندازه خلال کبریت در لوله آزمایشگاهی  
 حاوی مخلوط آب اکسیژنه ۳۰ درصد و اسید استیک به  
 نسبت ۱ به ۱ در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸  
 ساعت خیسانده شدند. سپس خرده چوب های سفید شده  
 در یک بشر کوچک قرار گرفته و توسط یک آهنربا بر روی  
 همزن مغناطیسی الکتریکی کوچک الیاف از یکدیگر جدا  
 شدند، سپس یک تا سه قطره الیاف غلیظ در یک بشر  
 حاوی ۱۰ میلی لیتر آب، رقیق شده و توسط قطره چکان بر  
 روی لام های تمیز منتقل شدند. لام های میکروسکوپی  
 مرطوب و حاوی الیاف به مدت ۲۴ ساعت در هوای آزاد بر  
 روی یک میز ثابت و تمیز گذاشته شد تا رطوبت آن  
 به تدریج و در دمای محیط آزمایشگاه تبخیر گردد. پس از  
 تبخیر رطوبت، الیاف چوب به شکل رسوب سفید رنگ بر  
 روی شیشه لام قابل مشاهده بود. بر روی الیاف خشک شده  
 سفید چند قطره محلول رنگی سفرائین یک درصد چکانده  
 و بر روی آن لامل قرار داده شد. در نهایت ابعاد الیاف با  
 استفاده از میکروسکوپ نوری ( Nikon microscopic, )  
 (Eclipse 50i, Japan) مورد اندازه گیری قرار گرفت (برای  
 طول الیاف از بزرگنمایی ۱۰X و برای قطر الیاف، قطر  
 حفره سلولی و ضخامت دیواره سلولی ۴۰X).

### خواص خمشی

بر اساس استاندارد ASTM D ۱۴۳-۹۴(۲۰۰۰)  
 آزمون خمش سه نقطه ای با ماشین آزمون مکانیکی مدل L  
 ۲۰ Universal PT (سرعت بارگذاری ۱/۳ میلی متر بر  
 دقیقه) به منظور تعیین حداکثر بار خمشی انجام و با  
 استفاده از روابط ۴ و ۵،  $MOE^1$  و  $MOR^2$  مورد محاسبه  
 قرار گرفت.

<sup>1</sup> Modulus of Elasticity

<sup>2</sup> Modulus of Rupture

تیمارهای تحت بررسی بر پایه تابع توانی فایندلی و با استفاده از معادله زیر انجام گردید.

$$\log(\mu_1 - \mu_0) = \log a + m \log t \quad (۹)$$

از طریق رسم  $\log(\mu_1 - \mu_0)$  به صورت تابعی از  $\log t$ ، پارامترهای  $a$  و  $m$  تعیین می‌گردند. شیب خط مستقیمی که از نقاط این منحنی می‌گذرد  $m$  و تقاطع آن با محور عمودی  $\log a$  است.

## نتایج و بحث

### خواص فیزیکی و بیومتری

نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر ارتفاع از سطح دریا بر طول الیاف، دانسیته بحرانی و دانسیته خشک، معنی‌دار و بر قطر الیاف، ضخامت دیواره سلولی و قطر حفره سلولی غیر معنی‌دار است (جدول ۲). جدول دانکن مقادیر طول الیاف را در دو ارتفاع ۴۰۰ و ۱۱۰۰ متر در یک گروه و حاصل از ارتفاع ۸۰۰ متر را در گروه دیگر قرارداد، همچنین برای دانسیته بحرانی مقادیر دو ارتفاع ۴۰۰ و ۱۱۰۰ متر در یک گروه و حاصل از ارتفاع ۸۰۰ متر را در گروه دیگر قرارداد، اما در مورد دانسیته خشک آن‌ها را در سه گروه مجزا قرار داده است. بالاترین میانگین دانسیته خشک، دانسیته بحرانی و ضخامت دیواره سلولی در ارتفاع ۴۰۰ متری، بالاترین مقادیر قطر الیاف و قطر حفره سلولی در ارتفاع ۸۰۰ متری و در نهایت بالاترین طول الیاف در ارتفاع ۱۱۰۰ متری از سطح دریا مشاهده شد. عوامل متعددی مانند رویشگاه، پهنای دوایر رویش، ضخامت دیواره سلولی و نسبت چوب آغاز به چوب پایان بر دانسیته چوب مؤثر است [۲۰-۱۷]. همچنین ارتباط مستقیم بین ضخامت دیواره سلولی و دانسیته چوب وجود دارد. علت افزایش دانسیته در ارتفاع ۴۰۰ متر از سطح دریا به دلیل افزایش ضخامت دیواره سلولی (۵/۱۶) است و با نتایج Kiaei (۲۰۱۳) مطابقت دارد [۲۱].

خزش نسبی ( $R_c$ ): عبارت است از خزش به عنوان درصدی از تغییر مکان آنی

$$R_c = \frac{J_t - J_0}{J_0} \times 100 \quad (۶)$$

$$E_c = \frac{L^3 F}{4bh^3 J_t} \quad (۷)$$

$R_c$  خزش نسبی برحسب درصد،  $E_c$  مدول خزش برحسب مگا پاسکال،  $J_t$  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

### معادلات پارابولیکی<sup>۳</sup>

از میان روش‌های زیادی که برای به تصویر درآوردن خزش و رفتار افت تنش چوب و مواد مرکب چوبی بکار گرفته می‌شود، اکثریت با نمایش‌های گرافیک است. یکی از روش‌های بسیار ساده، تناسب سازی منحنی تجربی است که با انتخاب معادله‌های درست برای توصیف مشاهدات همراه است. تحقیقات متعددی مدل‌های ویسکوالاستیک مواد را مورد بررسی قرار می‌دهند. روابط خطی و غیرخطی مواد ویسکوالاستیک تعیین شده و تعدادی معادله ارائه شده است [۱]. پارامترهای معادله مذکور با تکنیک مناسب آماری یا گرافیک تعیین می‌گردد. مدل خزشی که اینجا مورد استفاده قرار می‌گیرد به نام قانون توان Findley مورد پیشنهاد قرار گرفته است [۱۶]. این مدل ساده بوده و به کارگیری مواد ویسکوالاستیک تحت بار را در دفعات محدود و مناسب مورد اثبات قرار داده است. فرم کلی مدل به صورت زیر بیان شده است.

$$\mu_1 = \mu_0 + at^m \quad (۸)$$

$\mu_1$  کرنش خزشی وابسته به زمان،  $\mu_0$  کرنش آنی،  $a$  ضریبی از کرنش وابسته به زمان،  $t$  زمان بعد از بارگذاری و  $m$  ثابت مواد است. آنالیز رفتار خزشی

جدول ۲- نتایج میانگین خواص فیزیکی و بیومتری چوب ممرز در سه کلاسه ارتفاعی از سطح دریا

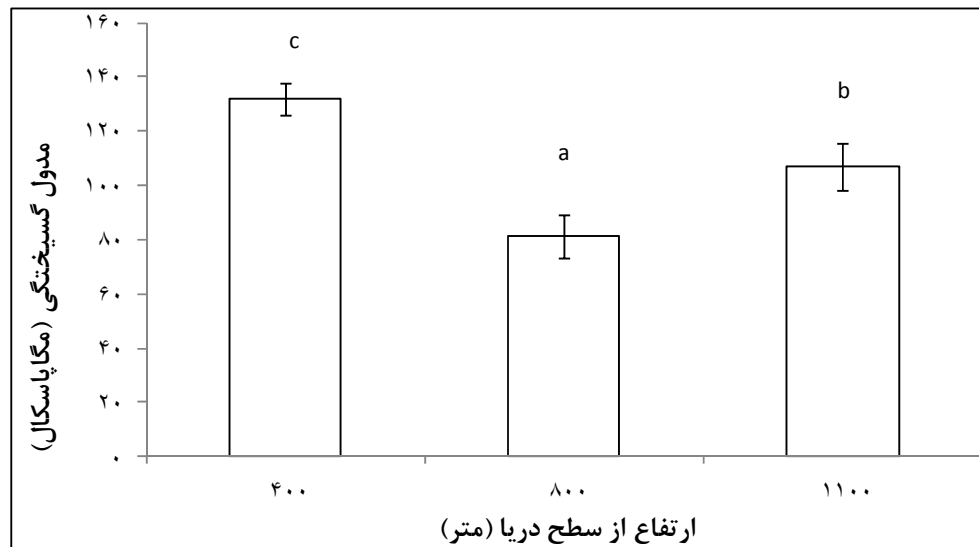
ارتفاع از سطح دریا (متر)	دانسیته خشک کیلوگرم بر مترمکعب	دانسیته بحرانی کیلوگرم بر مترمکعب	طول الیاف (میکرومتر)	قطر الیاف (میکرومتر)	قطر حفره سلولی (میکرومتر)	ضخامت دیواره سلولی (میکرومتر)
۴۰۰	۷۲۰/۸۹ <sup>c</sup>	۶۲۷/۸۵ <sup>b</sup>	۱۳۴۱/۴۱ <sup>b</sup>	۲۲/۵۵	۱۲/۲۲	۵/۱۶
۸۰۰	۶۲۸/۰۹ <sup>a</sup>	۵۴۹/۴۶ <sup>a</sup>	۱۲۱۲/۹۷ <sup>a</sup>	۲۳/۵۴	۱۳/۶۴	۴/۹۴
۱۱۰۰	۶۷۹/۰۶ <sup>b</sup>	۵۸۷/۳۶ <sup>a</sup>	۱۳۷۰/۰۶ <sup>b</sup>	۲۲/۹۲	۱۲/۸۲	۵/۰۵
F	۴۸/۹۷۲**	۳/۴۲۴*	۱۰/۴۱۶**	۲/۵۳۸ <sup>ns</sup>	۲/۶۶۷ <sup>ns</sup>	۰/۴۷۶ <sup>ns</sup>

\*- معنی داری در سطح ۹۵ درصد، \*\*- معنی داری در سطح ۹۹ درصد، ns- غیر معنی دار

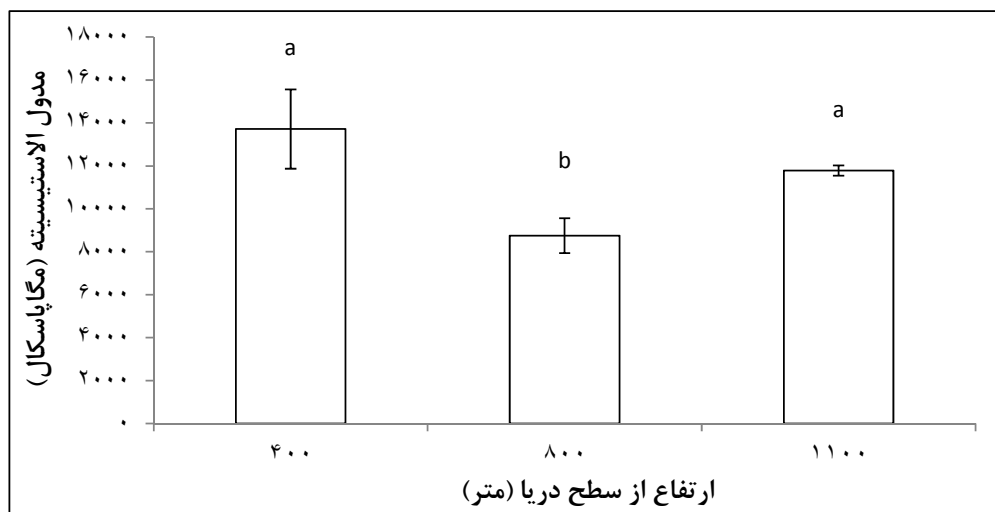
### مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته

نتایج مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته چوب ممرز در سه کلاسه ارتفاعی از سطح دریا به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. بالاترین و پایین‌ترین میانگین مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته به ترتیب در دو ارتفاع ۴۰۰ و ۸۰۰ متر مشاهده گردید. آزمون تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع از سطح دریا

تأثیر معنی داری بر مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته دارد. جدول دانکن مقادیر مدول الاستیسیته در دو کلاسه ارتفاعی ۴۰۰ و ۱۱۰۰ متر را در یک گروه و حاصل از ارتفاع ۸۰۰ متر را در گروه دیگر قرار داده است، اما در مورد مدول گسیختگی آن‌ها را در سه گروه مجزا قرار داده است.



شکل ۱- تأثیر ارتفاع از سطح دریا بر مدول گسیختگی چوب ممرز

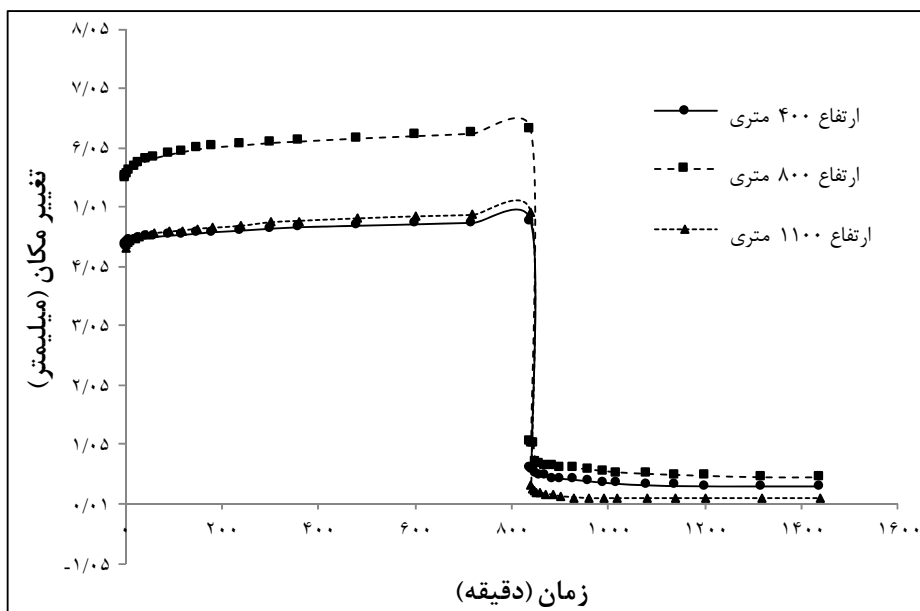


شکل ۲- تأثیر ارتفاع از سطح دریا بر مدول الاستیسیته چوب ممرز

شکل ۳ منحنی‌های خزش- بازگشت نمونه‌های مورد آزمایش در سه کلاسه ارتفاعی را نشان می‌دهد. منحنی خزش- بازگشت مربوط به ارتفاع ۸۰۰ متر در سطح بالاتر و منحنی مربوط به دو کلاسه ارتفاعی ۴۰۰ و ۱۱۰۰ متر در سطح پایین‌تری تشکیل گردید، بطوریکه منحنی این دو کلاسه ارتفاعی تقریباً بر هم منطبق است. با توجه به تأثیر مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی بر رفتار خزشی مواد [۵].

علت افزایش مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی در ارتفاع ۴۰۰ متر به دلیل افزایش دانسیته چوب است. همان‌طور که می‌دانیم ارتباط مستقیم بین دانسیته و خواص مقاومتی وجود دارد [۲۲-۲۳] که با نتایج Kaboorani (۲۰۱۳) و Ishimaru (۲۰۰۱) مطابقت دارد [۵، ۲۴].

### آزمون خزش خزش - بازگشت



شکل ۳- منحنی خزش- بازگشت نمونه‌ها در ارتفاعات مختلف از سطح دریا

تعداد نمونه‌ها در ارتفاع ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۱۰۰ متری از سطح دریا به ترتیب ۳۰، ۳۰ و ۲۹ درصد تعیین گردید. نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع از سطح دریا تأثیر معنی‌داری بر تغییر مکان آنی، تغییر مکان بیشینه، بازگشت آنی، تغییر مکان دائمی و درصد بازگشت ندارد. مطابق با جدول ۴، بالاترین میانگین تغییر مکان آنی، تغییر مکان بیشینه، بازگشت آنی، تغییر مکان دائمی در ارتفاع ۸۰۰ متر و بالاترین میانگین درصد بازگشت در ارتفاع ۱۱۰۰ متری از سطح دریا مشاهده گردید.

بالاتر قرار گرفتن نمودار خزش- بازگشت نمونه‌های چوب ممرز حاصل از ارتفاع ۸۰۰ متر می‌تواند ناشی از نقصان خواص خمشی در این ارتفاع باشد و پائین تر قرار گرفتن نمودار در ارتفاع ۴۰۰ متر نیز می‌تواند ناشی از افزایش مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی در این کلاسه ارتفاعی باشد.

نتایج تغییر مکان آنی، تغییر مکان بیشینه، بازگشت آنی، تغییر مکان دائمی، درصد بازگشت نمونه‌های موردبررسی در جدول ۳ نشان داده شده است. رطوبت

جدول ۳- مقادیر تغییر مکان خزشی چوب ممرز در سه کلاسه ارتفاعی

ارتفاع از سطح دریا (متر)	رطوبت تعادل چوب (درصد)	تغییر مکان آنی (میلی‌متر)	تغییر مکان بیشینه (میلی‌متر)	بازگشت آنی (میلی‌متر)	تغییر مکان دائمی (میلی‌متر)	درصد بازگشت
۴۰۰	۳۰	۰/۸۶	۰/۹۵	۰/۱۲	۰/۰۵	۸۴/۶۱
۸۰۰	۳۰	۱/۰۹	۱/۲۶	۰/۲۱	۰/۰۸	۹۳/۰۲
۱۱۰۰	۲۹	۰/۸۶	۰/۹۸	۰/۰۶	۰/۰۱	۹۸/۱۸
نتیجه آماری	F	۳/۵۳۳ <sup>ns</sup>	۴/۴۲۰ <sup>ns</sup>	۴/۸۴۸ <sup>ns</sup>	۰/۹۸۵ <sup>ns</sup>	۱/۵۹۱ <sup>ns</sup>

\*\*\*- معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد، ns- غیر معنی‌دار

#### ارتباط بین خواص چوب با خیز آنی و بیشینه

ارتباط بین دانسیته، خواص خمشی و بیومتری با خیز آنی و بیشینه چوب ممرز با استفاده از همبستگی پیرسون در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که

مدول الاستیسیته با خیز آنی و بیشینه ارتباط معکوس و معنی‌دار دارد. همچنین ارتباط منفی و معنی‌دار بین دانسیته خشک با تغییر مکان بیشینه ( $r = -0/700$ ) مشاهده گردید.

جدول ۴- ارتباط بین خواص چوب با خیز آنی و بیشینه چوب ممرز

خیز (میلی‌متر)	مدول الاستیسیته	مدول گسیختگی	دانسیته خشک	قطر حفره سلولی	ضخامت دیواره سلولی	قطر الیاف	طول الیاف
آنی	-۰/۶۷۹*	-۰/۵۸۹	-۰/۶۴۳	۰/۴۹۰	-۰/۴۷۳	۰/۴۰۵	-۰/۲۱۵
بیشینه	-۰/۷۱۸*	-۰/۶۶۲	-۰/۷۰۰*	۰/۴۶۱	-۰/۴۳۹	۰/۳۸۵	-۰/۲۶۹

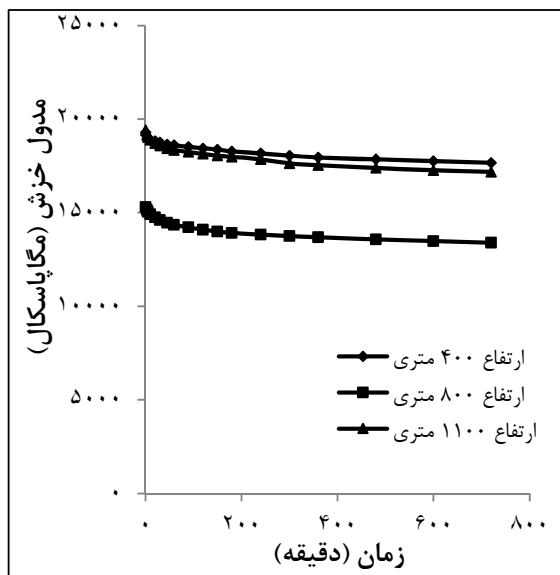
\*معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد

#### خزش نسبی

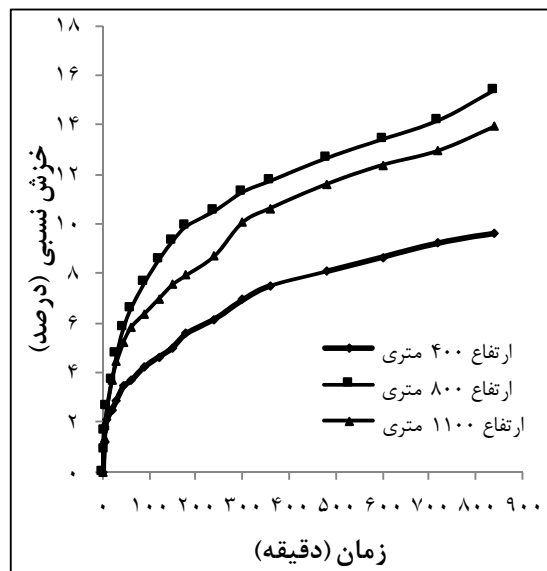
به‌طورکلی، خزش نسبی شاخصی از سازوکار مهندسی وابسته به زمان است و به‌طورمعمول برای مقایسه سازوکار خزشی، مواد مختلف با مدول الاستیسیته‌های متفاوت

به‌کاربرده می‌شود [۱]. شکل ۴ (الف) منحنی‌های خزش نسبی را در سه کلاسه ارتفاعی نشان می‌دهد. در تمام مدت‌زمان بارگذاری، بالاترین و پایین‌ترین منحنی خزش نسبی به ترتیب در ارتفاع ۸۰۰ و ۴۰۰ متر مشاهده گردید.





(ب)



(الف)

شکل ۴- تأثیر ارتفاع از سطح دریا بر خزش نسبی (الف)، مدول خزش (ب)

مقدار خزش نسبی در ارتفاع ۴۰۰ متر از سطح دریا مشاهده گردید و با توجه به ارتباط معکوس بین مدول خزش با خزش نسبی، بالاترین مقدار مدول خزش در ارتفاع ۴۰۰ متری از سطح دریا مشاهده گردید.

#### معادلات پارابولیکی رفتار خزش خمشی نمونه-

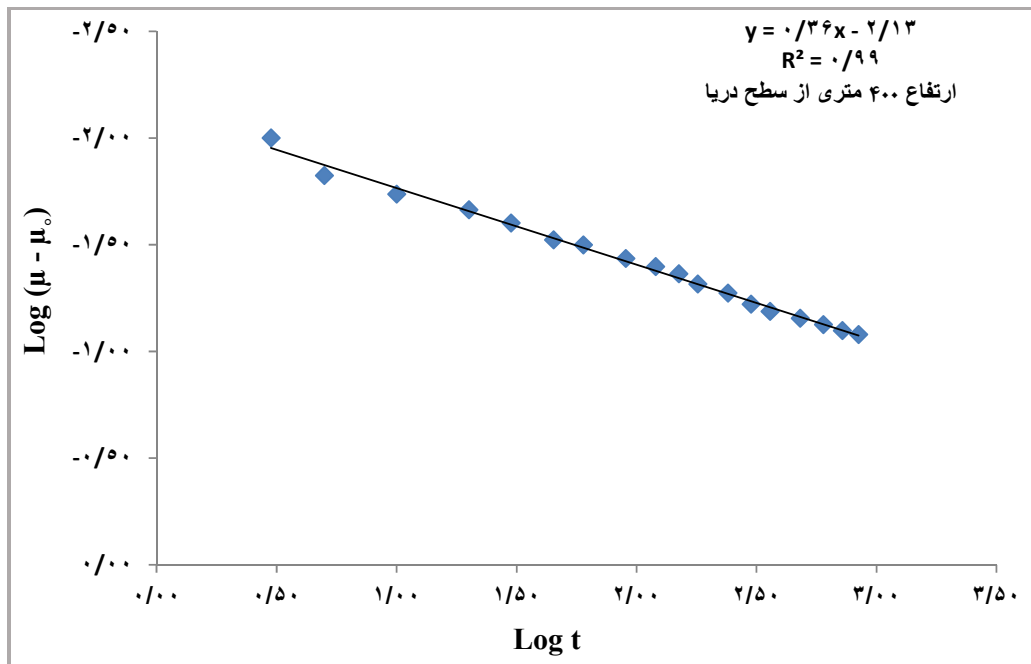
##### های تحت بررسی:

نمونه‌ای از رفتار تجربی مناسب تیمارها در ارتفاع ۴۰۰ متری از سطح دریا در شکل ۵ نشان داده شده است. با داشتن مقادیر  $a$  و  $m$  از طریق رسم گراف‌های مربوط و بر اساس رابطه ۸ می‌توان معادلات پارابولیکی را برای هر نمونه به دست آورد.

#### مدول خزش

شکل ۴ (ب) منحنی‌های مدول خزش در سه ارتفاع ذکر شده را نشان می‌دهد. مدول خزش با گذشت زمان کاهش می‌یابد. در تمام مدت‌زمان بارگذاری بالاترین و پایین‌ترین منحنی مدول خزش به ترتیب در ارتفاع ۴۰۰ و ۸۰۰ متری از سطح دریا مشاهده شد.

علت افزایش خزش نسبی در ارتفاع ۸۰۰ متری را می‌توان به کم بودن مقدار مدول الاستیسیته در این ارتفاع اشاره کرد، زیرا ارتباط معکوس بین خیز آنی و بیشینه با مدول الاستیسیته وجود دارد (جدول ۵) [۲۵]. عدم معنی‌دار بودن مدول الاستیسیته در دو ارتفاع ۴۰۰ و ۱۱۰۰ متر از سطح دریا (جدول ۳) سبب تغییرات جزئی در مقادیر محاسبه‌شده خزش نسبی شده است. کمترین



شکل ۵- رفتار خزشی چوب ممرز در ارتفاع ۴۰۰ متری از سطح دریا

تمام تیمارهای آزمایش در جدول ۵ نشان داده شده است. از نتایج این‌طور استنباط می‌شود که رفتار خزشی نمونه‌های تحت مطالعه از قانون توان فایندلی پیروی می‌کند (رابطه ۸).

Najafi (۲۰۰۹)، گزارش کرد که برای زمان‌های متفاوت بارگذاری و با داشتن معادله پارابولیکی هر نمونه می‌توان مقدار کرنش خزشی را پیش‌بینی نمود [۱۷]. مقادیر محاسبه‌شده  $m$ ،  $a$  و معادلات پارابولیکی برای

جدول ۵- مقادیر محاسبه‌شده  $m$  و  $a$  در معادلات پارابولیکی

$R^2$	$\mu_0 + at^m$	$\mu_0$	$a$	$m$	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۰/۹۹	$۰/۸۶ + ۰/۰۰۷ t^{۰/۳۵}$	۰/۸۶	۰/۰۰۷	۰/۳۵	۴۰۰
۰/۹۵	$۱/۰۹ + ۰/۰۰۹ t^{۰/۴۵}$	۱/۰۹	۰/۰۰۹	۰/۴۵	۸۰۰
۰/۹۸	$۰/۸۶ + ۰/۰۰۹ t^{۰/۳۸}$	۰/۸۶	۰/۰۰۹	۰/۳۸	۱۱۰۰

قطر الیاف و قطر حفره سلولی در ارتفاع ۸۰۰ متری از سطح دریا وجود دارد.

- بالاترین و پایین‌ترین مقادیر مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی به ترتیب در ارتفاع ۴۰۰ و ۸۰۰ متری از سطح دریا مشاهده شد.

- بالاترین میانگین تغییر مکان آنی، تغییر مکان بیشینه، بازگشت آنی، تغییر مکان دائمی در ارتفاع ۸۰۰ متر و بالاترین درصد بازگشت در ارتفاع ۱۱۰۰ متری از سطح دریا مشاهده گردید.

### نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر ارتفاع از سطح دریا بر رفتار خزش خمشی گونه ممرز برداشت‌شده از طرح جنگلداری ماشلک نوشهر در سه کلاسه ارتفاعی ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۱۰۰ متری از سطح دریا و در شرایط ثابت آزمایش (رطوبت نسبی ۶۵ و بارگذاری ۲۰ درصد حداکثر بار شکست) انجام گردید و نتایج زیر حاصل شد.

- بالاترین دانسیته و ضخامت دیواره سلولی در ارتفاع ۴۰۰ متر، بیشترین طول الیاف در ۱۱۰۰ متر و بیشترین

- مدول الاستیسیته با خیز آنی و بیشینه ارتباط معکوس و معنی‌دار دارد؛ همچنین ارتباط منفی و معنی‌دار بین دانسیته خشک با تغییر مکان بیشینه مشاهده گردید.

- بیشترین مقادیر خزش نسبی در ارتفاع ۸۰۰ متر و بالاترین و پایین‌ترین مدول خزش به ترتیب در دو ارتفاع ۴۰۰ و ۸۰۰ متری از سطح دریا وجود داشت.

## منابع

- [1] Boding, J. and Jayne, B., 1993. Mechanics of wood and wood composites. Krieger publishing company, Malabar, Florida, USA.
- [2] Kaboorani, A. and Blanchet, P., 2014. Determining the linear viscoelastic region of sugar Maple wood by dynamic mechanical analysis. Wood viscoelasticity, Bioresources 9(3): 4392-4409.
- [3] Zhang, W., Tokumoto, M. and Takeda, T., 2007. Effect of temperature on mechano-sorptive creep of delignified wood. Journal of wood Science, 53(3):187-191.
- [4] Van Der Put, T.A.C.M., 1989. Deformation and damage processes in wood. Delft University Press, Delft, The Netherlands., 154p.
- [5] Kaboorani, A., Blanchet, P. and Laghdir, A., 2013. A rapid method to assess viscoelastic and mechanosorptive creep in wood. Wood and fiber science, 45(4):370-382.
- [6] Armstrong, L.D. and Kingston, R.S.T., 1960. The effect of moisture changes on creep in wood. Nature 185(4718): 862-863.
- [7] Armstrong, L.D. and Christensen, G.N., 1961. Influence of moisture changes on deformation of wood under stress. Nature 191(4791): 869-870.
- [8] Armstrong, L.D. and Kingston, R.S.T., 1962. The effect of moisture content changes on the deformation of wood under stress. Aust Journal Appl Science, 13(4): 257-276.
- [9] Armstrong, L.D., 1972. Deformation of wood in compression during moisture movement. Wood Science 5(2): 81-86.
- [10] Martensson, A., 1994. Mechano-Sorptive effects in wood material. Science and Technology, 28(6):437-449.
- [11] Hanhijarvi, A. and Hunt, D., 1998. Experimental indication of interaction between viscoelastic and mechano-sorptive creep. Wood science and Technology, 32(1):57-70.
- [12] Bazant, Z.P. and Meiri, S., 1985. Measurements of compression creep of wood at humidity changes. Wood science and Technology, 19(2):179-182.
- [13] Liu, T., 1993. Creep of wood under large span of loads in constant and varying environments. Holzals Rohund werkstoff, 51(6): 400-405.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Najafi, A. and Kazemi Najafi, S., 2009. Effect of load levels and plastic type on creep behaviour of wood sawdust/HDPE composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 28(21): 2645-2653.
- [17] Zobel, B.J. and Van Buijtenen, B., 1989. Wood variation: Its causes and control. Springer Verlag, New York.

- [18] Zobel, B.J., and Sprague, J.R., 1998. Juvenile wood in trees. Springer Verlag, New York.
- [19] Koubaa, A., Zhang, S.y., Isabel, N., Beaulieu, J. and Bousquet, J., 2000. Phenotypic correlations between juvenile-mature wood density and growth in black Spruce. *Wood and Fiber Science*, 32(1):61-71.
- [20] Zhu, J.Y., Vahey, D.W. and Scott, C.T., 2008. Some observations of wood density and anatomical properties in a DOUGLAS-FIR sample with suppressed growth. *Wood and Fiber Science*, 40(2):225-232.
- [21] Kiaei, M., 2013. Effect of cultivation methods on wood static bending properties in *Alnus Glutinosa*. *Drvna Industrija*, 64(4): 265-271.
- [22] Zhang, S.Y. and Zhong, Y., 1990. Effect of growth rate on specific gravity of East-Liaoning Oak (*Quercus Liaotungensis*) wood. *Canadian Journal Forest Resources*, 21(2):255-260.
- [23] Zhang, S.Y., 1997. Wood specific gravity-mechanical property relationship at species level. *Wood Science and Technology*, 31(3):181-191.
- [24] 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.
- [25] 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.

## The effect of altitude on bending creep behaviour of hornbeam (Case Study: Nowshahr Meshelak Branch)

### Abstract

This study aimed to investigate the effect of altitude on the bending creep behaviour of hornbeam lumber (*Carpinus betuluse*). For this purpose, 9 hornbeam trees were selected from three different altitudes (400, 800 and 1100m. a.s.l.) from forestry projects of Meshelak Nowshahr. 54 clear samples were cut from the mature wood at breast height. The prepared samples (dimensions: 2.5 × 2.5 × 41cm) were conditioned in a room at temperature of 20 °C and relative humidity of 65 %. After 3 weeks of conditioning, relative creep and creep modulus were measured using the four points flexural creep test in 20% maximum of deflection load. The results indicated that the effect of altitude on creep parameters were significant. The maximum and the minimum relative creep were, respectively, observed in 800 and 400m. a.s.l. and the maximum and the minimum creep modulus were, respectively, observed in 400 and 800m. a.s.l. Analysis of variance (ANOVA) indicated that the altitude has significant effect on the flexural strength and modulus of elasticity, which in turn caused a decrease in the creep parameters.

**Keywords:** altitude, creep modulus, hornbeam, relative creep.

V. Moosavi<sup>1</sup>  
H. KhademiEslam<sup>2</sup>  
B. Bazyar<sup>3</sup>  
A. Najafi<sup>4</sup>  
M. Talaeepoor<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. student., Department of wood science and paper technology, Science and research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Associate professor, Department of wood science and paper technology, Science and research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of wood science and paper technology, Science and research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

<sup>4</sup> Associate Professor., Department of wood science and paper technology, Science and research branch, Islamic Azad University, Chalus, Iran

<sup>5</sup> Assistant Professor, Department of wood science and paper technology, Science and research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Corresponding author:  
[hkhademieslam@gmail.com](mailto:hkhademieslam@gmail.com)

Received: 2015/10/25

Accepted: 2016/03/15