

تأثیر سطوح مختلف بار و رطوبت نسبی محیط بر رفتار خزش خمشی چوب ممرز (مطالعه موردی، رویشگاه ماشلک نوشهر)

ولی‌الله موسوی^{۱*}، عبدالله نجفی^۲

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف بار و رطوبت نسبی بر رفتار خزش خمشی چوب ممرز (Carpinus betulus) انجام گرفت. بدین منظور ۳ اصله درخت نرمال در ارتفاع ۴۰۰ متری از سطح دریا از طرح جنگلداری ماشلک نوشهر انتخاب گردید. ۱۰۸ نمونه کاملاً سالم به ابعاد ۴۱×۲/۵×۲/۵ سانتی‌متر از چوب بالغ گرده‌بینه‌های بریده شده در ارتفاع برابر سینه، تهیه و در اتاق کليماتيزه با شرایط رطوبت نسبی 2 ± 35 ، 3 ± 65 و 5 ± 95 درصد و دمای 20 ± 3 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. بعد از ۳ هفته متعادل‌سازی، ابتدا آزمون خمش سه نقطه‌ای با هدف تعیین حداکثر بار شکست بر روی ۲۷ 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 به منظور اندازه‌گیری پارامترهای خزش (تغییر مکان آنی، تغییر مکان بیشینه، بازگشت آنی و تغییر مکان دائمی) بر روی ۸۱ نمونه در بازه زمانی ۱۴ ساعت بارگذاری (رفت) و ۱۰ ساعت برداشت بار (بازگشت) در شرایط رطوبت نسبی یاد شده انجام پذیرفت. بر اساس پارامترهای خزش اندازه‌گیری شده 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 - بازگشت و خزش نسبیغیر از ساعات اولیه بارگذاری تنها برای خزش - بازگشت، 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 - بازگشت و خزش نسبی 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 آزمون تجزیه واریانس نشان داد که رطوبت نسبی تنها تأثیر معنی‌داری بر مدول گسیختگی دارد، همچنین افزایش خواص خمشی موجب کاهش پارامترهای خزش گردید.

واژه‌های کلیدی: ممرز، رطوبت نسبی، بار، خزش - بازگشت، مدول خزش، خزش نسبی.

۱* - نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد

اسلامی واحد چالوس، چالوس، ایران

پست الکترونیک: valiullahmousavi@gmail.com

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

چالوس، ایران

مقدمه

چوب در مصارف مختلف تحت بارهای مختلفی از جمله بارهای خمشی قرار گرفته و جابجا می‌شود- به اصطلاح خیز- بر می‌دارد، که در اثر استمرار و تکرار این امر، شکست در آن رخ می‌دهد. شکست یک اثر ترکیبی از دو فاکتور رفتار الاستیک و خزش می‌باشد. خزش یک رفتار رئولوژیک است و رئولوژی عبارت است از مطالعه رفتار وابسته به زمان تنش و تغییر طول نسبی مواد. به طور کلی، تغییر شکل وابسته به زمان محصول تحت اثر بار به عنوان خزش شناخته می‌شود. چنانچه خزش موجب شکست باشد می‌توان سه مرحله مشخص از هم را شناسایی نمود. اولیه، ثانوی و ثالث. خزش اولیه شامل ناحیه‌ای است که سرعت تغییر شکل 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. خزش اولیه استقرار تنش را نشان می‌دهد اما خزش ثالث از اتفاق شکست حکایت می‌کند. خزش ثانوی را می‌توان وضعیت بینابینی در نظر گرفت. خزش یا تغییر مکان در اثر تحمل بار می‌تواند تحت تأثیر نیروهای مختلف کشش، فشار، برش و خمش ایجاد شود (Boding & Jayne, 1993). در این بررسی اثر یکی از نیروهای یاد شده یعنی خمش مطالعه می‌شود، بنابراین از آن به عنوان رفتار خزش خمشی یاد می‌شود. چوب و

پانلهای چند سازه 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 می‌باشد (Zhang & Blanchet, 2007 et al., 2014; & Kaboorani). درجه حرارت بالا و تغییرات رطوبت، چوب را مستعد خزش نموده و می‌تواند منجر به مشکلات کاهش مقاومت و قابلیت استفاده آن گردد (Van Der Put, 1989).

Bazant و همکاران (۱۹۸۵)، با آزمایش خزش فشاری بر روی نمونه لوله‌ای توخالی گونه کاج در دو سطح رطوبت نسبی ۵۲ و ۱۰۰ درصد و دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد چنین نتیجه گرفتند که با افزایش رطوبت میزان تغییر مکان بواسطه خزش خمشی افزایش می‌یابد. Liu (۱۹۹۳)، به بررسی تأثیر همزمان و متقابل بار و رطوبت بر رفتار خزش خمشی چوب کاج پرداخت. خزش به طور خطی وابسته به میزان بارگذاری در کمتر از ۳۰ درصد حداکثر بار شکست، بود و در بالاتر از آن روابط غیر خطی گردید. Nakano (۱۹۹۹)، خزش خمشی چوب زبان گنجشک ژاپنی (*Fraxus mandshurica*) Ruper 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 مدت زمان بارگذاری دارد و خیز حاصل از تغییرات رطوبت همواره بیشتر از مقدار تغییر مکان در

- بازگشت چوب کاج جنوبی را با آزمایش بر روی ۴۰ نمونه سالم در شرایط بارگذاری (۹۱-۶۹) درصد حداکثر بار شکست در ۲۳ ساعت رفت و ۱ ساعت بازگشت با استفاده از مدل قانون توانی مدلسازی نمودند. آنها نتیجه گرفتند که این مدل به عنوان یک ابزار مؤثر در تعیین تأثیر تداوم بار در چوب و فرآورده‌های آن کاربرد داشته، بطوریکه یکی از مهمترین فاکتورها در طراحی‌های چوبی نیز می‌باشد.

ممرز از پهن‌برگان پراکنده آوند دارای چوبی نیمه سخت تا سخت با همکشیدگی زیاد است و به دلیل داشتن الیاف مارپیچی، خاصیت شکاف خوری آن کم و کار با آن مشکل است (Kiaei, 2012). با توجه به گستردگی این گونه و ضرورت مصرف صحیح آن لازم است که تمرکز بیشتری بر آن صورت گیرد. هدف از این تحقیق اندازه‌گیری پارامترهای خزشی و بررسی رفتار خزش خمشی چوب ممرز برداشت شده از طرح جنگلداری ماشلک نوشهر در ۳ سطح رطوبت نسبی و بارگذاری مختلف است تا بتوان شرایط مطلوب را تخمین زد.

مواد و روشها

چوب

در انجام این تحقیق، از ارتفاع ۴۰۰ متری از سطح دریا، ۳ اصله درخت ممرز تقریباً هم-سن (حدود ۳۰ ساله) انتخاب و ۳ گرده‌بینه کاملاً سالم، بدون پوسیدگی با قطر ۲۵ سانتی-

یک شرایط رطوبتی ثابت دارد. Kaboorani و همکاران (۲۰۱۳)، خزش خمشی چوب افرای قندی را در رطوبت نسبی‌های ۳۷، ۶۷ و ۸۳/۹ درصد، تحت بارگذاری ۵، ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد حداکثر بار شکست و دمای ۳۰ درجه سانتی-گراد در دو جهت شعاعی و مماسی با استفاده از یک تحلیل کننده مکانیکی - دینامیکی اندازه‌گیری نمودند. زمانی که رطوبت نسبی در طول دوره بارگذاری تغییر کرد، تأثیر همزمان بار و رطوبت قابل مشاهده بود. به منظور پیش-بینی رفتار خزشی چوب و فرآورده‌های مرکب چوبی در دوره‌های طولانی مدت از مدل‌های متعددی از قبیل مدل کلوین، ماکسول، برگر و غیره استفاده شده است.

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 ذکر شده تخمین زدند. Cai و همکاران (۲۰۰۲) رفتار خزشی از جمله خزش

¹ Bamboo laminated veneer lumber

² Bamboo/Poplar plywood

³ Burger model

⁴ Power law model

متر 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.

جدول ۱- مشخصات سایت رویشی و درختان مورد بررسی

رویشگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	بارندگی سالانه (میلی‌متر)	درجه حرارت سالانه (درجه سانتی‌گراد)	نوع خاک	ارتفاع درخت (سانتی‌متر)	قطر درخت (سانتی‌متر)
ماشلک نوشهر	۴۰۰	۱۳۴۵	۱۳/۵	Alfisols	۱۷/۶	۲۹

آماده‌سازی نمونه‌ها

خواص فیزیکی

گرده‌بین‌های بریده شده به مدت ۲ هفته در انبار سرپوشیده و شرایط محیطی دسته‌بندی و قرار داده شد. ابتدا به ۱۵ تخته با ضخامت ۳/۲ سانتی‌متر تبدیل و به صورت چیدمان دستک-گذاری شده برای مدت دو هفته قرار گرفتند. از هر گرده‌بین در هر ارتفاع ۳۶ نمونه با ابعاد ۲/۵×۲/۵×۲/۵ سانتی‌متر بر طبق استاندارد ۹۴-ASTM D۱۴۳ از قسمت چوب بالغ (حلقه ۱۸ به بعد) آماده شد (در مجموع ۱۰۸ نمونه، ۲۷ نمونه برای آزمون خمش و ۸۱ نمونه برای آزمون خزش). نمونه‌ها به مدت حداقل ۳ هفته در اتاق کليماتيزه با شرایط رطوبت نسبی ۳۵±۲، ۶۵±۳ و ۹۵±۵ درصد و دمای ۲۰±۳ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس بعد از متعادل‌سازی، آزمایشات خمشی و خزشی در این شرایط کليماتيزه انجام پذیرفت.

قبل از اندازه‌گیری خواص خمشی، نمونه‌هایی بر اساس استاندارد ISO ۳۱۳۱ با ابعاد ۲×۲/۵×۲/۵ سانتی‌متر از قسمت چوب بالغ گرده‌بین‌های برداشت شده در هر ارتفاع، تهیه و با توزین آنها در شرایط محیط و بعد از قرارگیری در شرایط کليماتيزه، رطوبت تعادل نمونه‌ها بر اساس رابطه ۱ اندازه‌گیری شد.

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

رابطه (۱) M_w و M_o وزن نمونه به ترتیب قبل و بعد از قرارگیری در شرایط کليماتيزه می‌باشد. سپس خواص فیزیکی چوب ممرز در هر سه کلاس ارتفاعی شامل دانسیته خشک و بحرانی اندازه-گیری شد. به طوری که نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آب به صورت غوطه‌وری قرار داده شد. بعد از اندازه‌گیری وزن و ابعاد، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون قرار گرفته و مجدد وزن و ابعاد آنها اندازه‌گیری شد. با استفاده از

نمونه در دو نقطه $0.4P_{max}$ و $0.1P_{max}$ بر حسب میلی‌متر.

خواص خزشی

بعد از انجام آزمون خمشی، بر اساس استاندارد ASTM D۶۸۱۵-۰۹، آزمون خزش خمشی چهار نقطه بارگذاری (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 خمشی در طیدودوره زمانی ۱۴ ساعت اعمال بار و ۱۰ ساعت برداشت بار (در مجموع ۲۴ ساعت برای هر نمونه) انجام گردید. میزان جابجایی نمونه‌ها، به وسیله جابجایی‌سنج مدل Alton با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر که در وسط دهانه بارگذاری، تعبیه شده بود، ثبت و تغییر مکان آنی، تغییر مکان بیشینه، بازگشت آنی، تغییر مکان دائمی اندازه‌گیری شد. بر اساس مشخصه‌های اندازه‌گیری شده مدول خزش و خزش نسبی به ترتیب بر-طبق روابط ۶ و 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)

روابط ۲ و ۳ دانسیته خشک (D_o) و بحرانی (D_b) گونه مورد بررسی، محاسبه شد.

$$D_o = \frac{m_o}{v_o} \quad (۲) \text{ رابطه}$$

$$D_b = \frac{m_o}{v_w} \quad (۳) \text{ رابطه}$$

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

خواص خمشی

بر اساس استاندارد (۲۰۰۰) ۹۴-ASTM۱۴۳ آزمون خمش سه نقطه‌ای با ماشین آزمون مکانیکی مدل ۲۰L Universal PT (سرعت بارگذاری ۱/۳ میلی‌متر بر دقیقه) به منظور تعیین حداکثر بار خمشی انجام و با استفاده از روابط ϵ و 5 ، MOE^1 و MOR^2 مورد محاسبه قرار گرفت.

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

رابطه (۵)

$$MOR = \frac{3P_{max}L}{2bh^2}$$

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

¹ Modulus of Elasticity

² Modulus of Rupture

$$E_c = \frac{L^3 F}{4bh^3 J_t} \quad \text{رابطه (۶)}$$

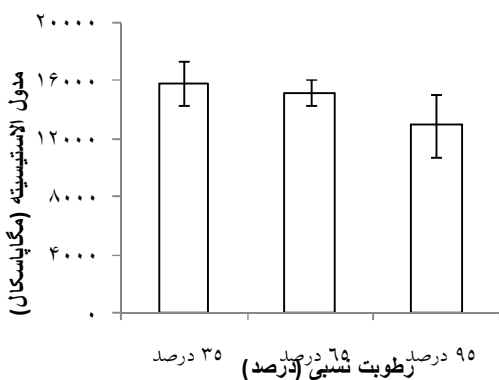
$$R_c = \frac{J_t - J_0}{J_0} \times 100 \quad \text{رابطه (۷)}$$

نتایج

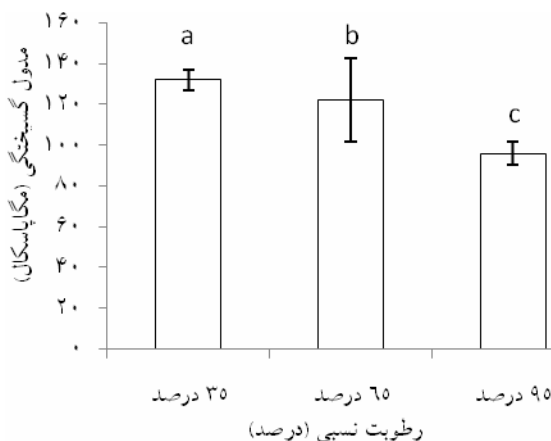
خواص خمشی

نتایج مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته چوب ممرز در سه سطح رطوبت نسبی در شکل ۱ نشان داده شده است. بالاترین و پایین-ترین میانگین مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته به ترتیب در دو سطح رطوبت نسبی ۳۵ و ۹۵ درصد مشاهده گردید.

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



(ب)



(الف)

شکل ۱- اثر مستقل رطوبت نسبی بر مدول گسیختگی (الف) و مدول الاستیسیته (ب) چوب ممرز

آزمون خزش

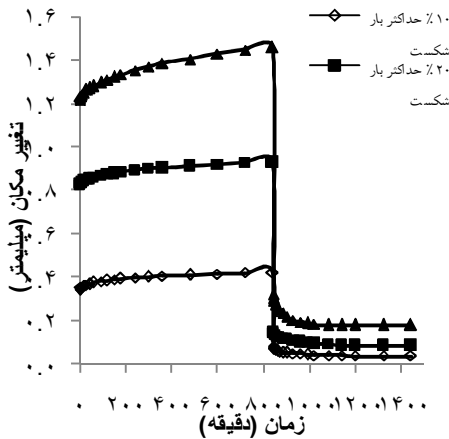
خزش - بازگشت

شکل ۲(الف) منحنی‌های خزش-بازگشت نمونه‌های مورد آزمایش را در سه سطح رطوبت نسبی نشان می‌دهد. منحنی خزش-بازگشت مربوط به رطوبت نسبی ۹۵ درصد غیر از ساعات اولیه بارگذاری (رفت) و در زمان برداشت بار (بازگشت) در بالاترین سطح

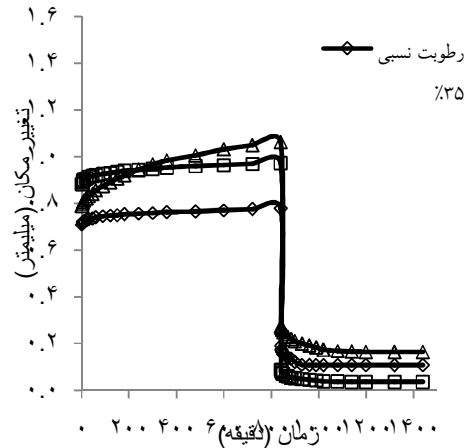
آزمون تجزیه واریانس نشان داد که رطوبت نسبی تنها تأثیر معنی‌داری بر مدول گسیختگی دارد. جدول دانکن مقادیر مدول گسیختگی را در سه گروه مجزا قرار داده است (شکل ۱-الف).

گردید. همچنین منحنی مربوط به رطوبت نسبی ۳۵ درصد تنها در زمان رفت در پایین ترین سطح تشکیل گردید.

و منحنی مربوط به رطوبت نسبی ۶۵ درصد در زمان رفت بالاتر از رطوبت نسبی ۳۵ درصد و در زمان برگشت در پایین ترین سطح تشکیل



(ب)



(الف)

شکل ۲- منحنی خزش- بازگشت نمونه های چوب ممرز در سه سطح رطوبت نسبی (الف) و بار (ب)

بازگشت در هر دو زمان رفت و بازگشت به ترتیب در ۳۰ و ۱۰ درصد حداکثر بار شکست تشکیل گردید.

شکل ۲ (ب) منحنی های خزش- بازگشت نمونه های چوب ممرز را در سه سطح بار نشان می دهد. بالاترین و پایین ترین منحنی خزش-

جدول ۲- نتایج میانگین پارامترهای خزش در سه سطح بار و رطوبت نسبی

ارتفاع از سطح دریا (متر)	دانسیته خشک (کیلوگرم بر متر مکعب)	دانسیته بحرانی (کیلوگرم بر متر مکعب)	رطوبت نسبی (درصد)	رطوبت تعادل (درصد)	سطح بار (درصد)	تغییر مکان (میلی متر)	تغییر مکان بیشینه (میلی متر)	بازگشت آنی (میلی متر)	تغییر مکان دائمی (میلی متر)
۱۰					۱۰	۰/۳۳	۰/۳۸	۰/۰۴	۰/۰۲
۲۰	۳۵ ± ۲	۲۷ ± ۲			۲۰	۰/۷۷	۰/۸۳	۰/۱۳	۰/۱۱
۳۰					۳۰	۱/۰۲	۱/۱۱	۰/۳۹	۰/۱۸
۱۰					۱۰	۰/۳۰	۰/۳۶	۰/۰۵	۰/۰۲
۲۰	۶۵ ± ۳	۳۰ ± ۳			۲۰	۰/۸۶	۰/۹۵	۰/۱۲	۰/۰۵
۳۰					۳۰	۱/۴۷	۱/۶۱	۰/۱۹	۰/۱۲
۱۰					۱۰	۰/۳۹	۰/۵۳	۰/۱۴	۰/۰۶
۲۰	۹۵ ± ۵	۳۴ ± ۳			۲۰	۰/۸۳	۱/۰۰	۰/۱۸	۰/۰۹
۳۰					۳۰	۱/۱۴	۱/۶۴	۰/۴۸	۰/۳۴
نتیجه آماری	F	-----			-----	14/80*	12/62*	11/55*	11/83*
نتیجه آماری	-----				F	226/92*	209/07*	14/17*	11/48*

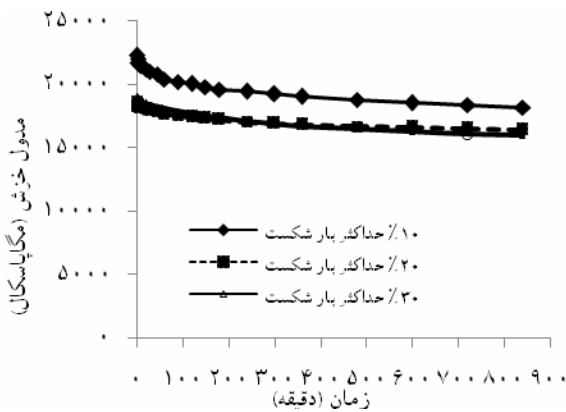
* - معنی داری در سطح ۹۵ درصد

مکان دائمی (۰/۳۴ میلی متر) در رطوبت نسبی ۹۵ درصد و ۳۰ درصد حداکثر بار شکست ثبت گردید.

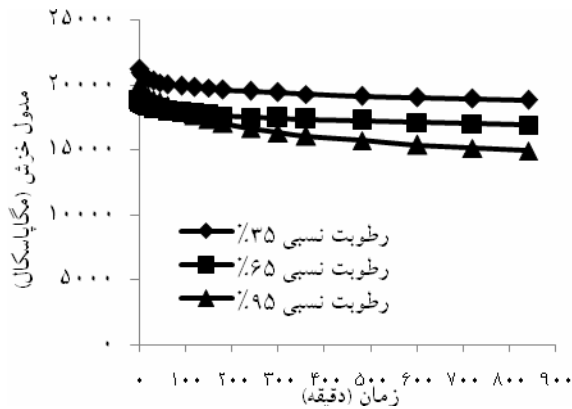
مدول خزش

شکل ۳ (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.

نتایج میانگین تغییر پارامترهای خزش نمونه‌های چوب ممرز در سه سطح بار و رطوبت نسبی، در جدول ۳ نشان داده شده است. رطوبت تعادل نمونه‌ها در سطوح رطوبت نسبی ۳۵ ± ۲، ۶۵ ± ۳ و ۹۵ ± ۵ درصد به ترتیب ۲۷ ± ۲، ۳۰ ± ۳ و ۳۴ ± ۳ درصد تعیین گردید. نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که سطوح رطوبت نسبی و بار تأثیر معنی‌داری بر تمام پارامترهای خزش دارد. مطابق با جدول ۲، بیشترین تغییر مکان آنی (۱/۴۷ میلی متر) در رطوبت نسبی ۶۵ درصد و ۳۰ درصد حداکثر بار شکست، بیشترین تغییر مکان بیشینه (۱/۶۴ میلی متر)، بازگشت آنی (۰/۴۸ میلی متر) و تغییر



(ب)



(الف)

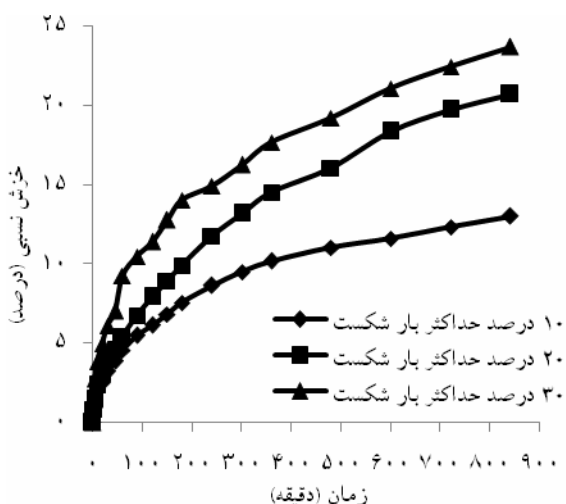
شکل ۳- منحنی مدول خزش نمونه‌های چوب ممرز در سه سطح رطوبت نسبی (الف) و بار (ب)

مدت زمان بارگذاری، بالاترین و پایین‌ترین منحنی خزش نسبی به ترتیب در دو سطح رطوبت نسبی ۹۵ و ۳۵ درصد مشاهده گردید، همچنین در اثر سطوح مختلف بار، بالاترین و پایین‌ترین منحنی خزش نسبی به ترتیب در ۳۰ و ۱۰ درصد حداکثر بار شکست تشکیل گردید (شکل ۴-ب).

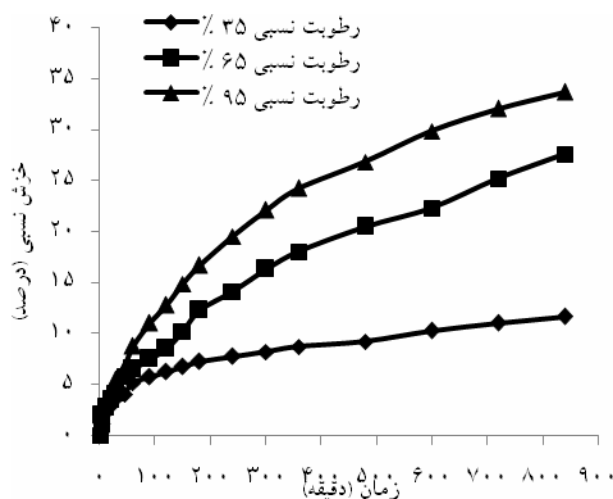
اثر سطوح بار بر مدول خزش در شکل ۳ (ب) نشان داده شده است. بالاترین منحنی مدول خزش در ۱۰ درصد حداکثر بار شکست مشاهده گردید. پایین‌ترین منحنی در ۲۰ و ۳۰ درصد حداکثر بار شکست در ساعات اولیه تقریباً بر هم منطبق بوده و با گذشت زمان بارگذاری در ۳۰ درصد حداکثر بار شکست در سطح پایین‌ترین تشکیل گردید.

خزش نسبی

به طور کلی، خزش نسبی شاخصی از سازوکار مهندسی وابسته به زمان است و به طور معمول برای مقایسه سازوکار خزشی، مواد مختلف با مدول الاستیسیته‌های متفاوت به کار برده می‌شود (Boding & Jayne, 1993). شکل ۴ (الف) منحنی‌های خزش نسبی را در سه سطح رطوبت نسبی نشان می‌دهد. در تمام



(ب)



(الف)

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

بحث

بازگشت در رطوبت نسبی ۳۵ درصد نیز می‌تواند ناشی از افزایش مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی در این سطح رطوبت نسبی باشد (شکل ۲ - الف). همچنین رابطه مستقیم میزان خزش با سطح باردهی (Rammer, 2010) سبب شد که با افزایش سطح بارگذاری بیشترین میزان خیز نیز مشاهده گردد (شکل ۲- ب) که با نتایج Sayed-Ahmed (۲۰۰۹) و Najafi و Kazemi Najafi (۲۰۰۹) مطابقت دارد.

رابطه مستقیمی که بین خواص خمشی با مدول خزش (Kojima and Yamamoto, 2004) وجود دارد، 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 ۳- الف) که با نتایج Taniguchi and Ando (۲۰۱۰) و Moosavi و همکاران (۲۰۱۶) نیز مطابقت دارد.

رابطه معکوس رطوبت نسبی محیط و در نتیجه رطوبت تعادل چوب با مقاومت‌های مکانیکی (Ishimaru and et al., 2001) سبب شد که در حالت کمترین رطوبت نسبی محیط (۳۵ درصد) مقاومت‌های خمشی بهبود یابد (شکل ۱) که با نتایج Sayed-Ahmed و همکاران (۲۰۱۳) و Tokumoto (۱۹۹۴) نیز مطابقت دارد.

با توجه به تأثیر مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی بر رفتار خزشی مواد (and et al., 2013Kaboarani)، بالاتر قرار گرفتن نمودار خزش- بازگشت نمونه‌های چوب مرمر حاصل از رطوبت نسبی ۹۵ درصد، می‌تواند ناشی از نقصان خواص خمشی بواسطه رابطه معکوس رطوبت نسبی محیط و در نتیجه رطوبت تعادل چوب با مقاومت‌های مکانیکی باشد. پایین‌تر قرار گرفتن نمودار خزش -

(رفت) و در زمان برداشت بار (بازگشت) در بالاترین سطح و منحنی مربوط به رطوبت نسبی ۶۵ درصد در زمان رفت بالاتر از رطوبت نسبی ۳۵ درصد و در زمان برگشت در پایین‌ترین سطح تشکیل گردید. همچنین منحنی مربوط به رطوبت نسبی ۳۵ درصد تنها در زمان رفت در پایین‌ترین سطح تشکیل گردید.

- بالاترین و پایین‌ترین منحنی خزش- بازگشت در هر دو زمان رفت و بازگشت به ترتیب در ۳۰ و ۱۰ درصد حداکثر بار شکست مشاهده شد.

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

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

- 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 مشاهده گردید.

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) و Fu و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. همچنین رابطه مستقیم سطح بارگذاری با پارامترهای خزش (Kobbe, Ishimaru and et al., 2001, 2005) 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.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر سطوح رطوبت نسبی ۲ ± ۳۵ ، ۳ ± ۶۵ و ۵ ± 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 ارتفاع ۴۰۰ 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.

- منحنی خزش- بازگشت مربوط به رطوبت نسبی ۹۵ درصد غیر از ساعات اولیه بارگذاری

منابع

1. ASTM D 143-94., 2000. Standard methods of testing small clear specimens of timber. Annual
2. Books of ASTM standards Des. ASTM D 143- 94, Vol-4.10. Philadelphia, PA.
3. - ASTM D 6815-09., 2015. Standard specification for evaluation of duration of load and
4. creep effects of wood and wood-based products.
5. -Bazant, Z.P., and Meiri, S., 1985. Measurements of compression creep of wood at humidity changes.
6. Wood Science and Technology 19(2):179-182.
7. -Boding, J., and Jayne, B., 1993. Mechanics of wood and wood composites. Krieger publishing company,
8. Malabar, Florida, USA.
9. -Cai, Z., Fridley, K.J., Hunt, M.C., and Rosowsky, D.V. 2002. Creep and creep – recovery models for
10. wood under high stress levels. Wood and Fiber Science 34(3): 425-433.
11. -Dong, F.; Olsson, A. M.; Salmen, L., 2010: Fiber morphological effects on mechano-sorptive creep.
12. Wood Science and Technology 44(3): 475-483.
13. -Fu, Z., Cia, Y., Zhao, J., and Huan, S. 2013. The effect of shrinkage anisotropy on tangential
14. rheological properties of Asian white Birch disks. Bioresources 8(4): 5235-5243.
15. -Ishimaru, Y., Oshima, K., and Iida, I., 2001. Changes in the mechanical properties of wood during a
16. period of moisture conditioning. Journal of Wood Science 47(4):254-261.
17. -Ishimaru, Y., Arai, K., Mizutani, M., Oshima, K., and Iida, I., 2001. Physical and mechanical
18. properties of wood after moisture conditioning. Journal wood science 47: 185-191.
19. -ISO 3131., 1975. Wood - Determination of density for physical and mechanical tests.
20. -Kaborani, A., Blanchet, P., and Laghdir, A., 2013. A rapid method to assess viscoelastic and mechano
21. sorptive creep in wood. Wood and fiber science, 45(4):370-382.
22. -Kaborani, A., and Blanchet, P., 2014. Determining the linear viscoelastic region of sugar Maple wood
23. by dynamic mechanical analysis. Wood viscoelasticity, Bioresources 9(3): 4392-4409.
24. -Kiaei, M., 2012. Effect of site and elevation on wood density and shrinkage and their relationships in
25. *Carpinus betulus*, For. Stud. China, 14(3): 229-234.
26. -Kobbe, R. G., 2005. Creep behaviour of a wood-polypropylene composite. M.Sc. Thesis, Department of
27. Civil and Environmental Engineering, Washington State University, USA.
28. -Kojima, Y.; Yamamoto, H., 2004. Effect of microfibril angle

- on the longitudinal tensile creep behaviour
29. of wood. *Journal of Wood Science*, 50 (4): 301-306.
 30. -Liu, T., 1993. Creep of wood under large span of loads in constant and varying environments. *Holzals Roh-und werkstoff* 51(6): 400-405.
 31. -Ma, X., Wang, G., Jiang, Z., Xian, Y., and Li, H. 2014. Comparison of bending creep behaviour
 32. bamboo-based composites manufactured by two types of stacking sequences. *Bioresources* 9(3): 5461-5472.
 33. -Moosavi, V., Khademi Eslam, H., Bazyar, B., Najafi, A., Talaeepoor, M., 2016. Bending Creep Behavior of Hornbeam Wood. *Drvna Industrija* 67(4): 341-350.
 34. -Najafi, A.; Kazemi Najafi, S., 2009. Effect of load levels and plastic type on creep behaviour of wood
 35. sawdust/HDPE composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 28(21): 2645-2653.
 36. -Nakano, T., 1999. Analysis of creep of wood during water adsorption based on the excitation response
 37. theory. *Journal of wood science* 45(1): 19-23.
 38. -Obataya, E., Norimoto, M., and Gril, J. 1998. The effects of adsorbed water on dynamic
 39. mechanical properties of wood. *Polymer (Guildf)* 39(14):3059-3064.
 40. -Rammer, D. R., 2010. Wood handbook: wood as an engineering material, General Technical Report FPL-
 41. GTR-190, Madison, Wisconsin: Forest Products Laboratory.
 42. -Sayed-Ahmed, M., 2009. Flexural Creep Effects on Permanent Wood Foundations Made of Structural
 43. Insulated Foam-Timber Panels, M.A.Sc. Thesis, Toronto: Ryerson University.
 44. -Sayed-Ahmed, M. & Sennah, K., 2013. Effect of Temperature and Relative Humidity on Creep
 45. Deflection for Permanent Wood Foundation Panels. Montréal, Québec, Canadian Society for Civil
 46. Engineering, pp. 1-10.
 47. -Taniguchi, Y.; Ando, K., 2010. Time dependence of Poisson's effect in wood: Volume change during
 48. uniaxial tensile creep. *Journal of Wood Science* 56(2): 100-106.
 49. -Tokumoto, M. 1994. Creep and set of wood in the non-equilibrium states of moisture (in
 50. Japanese). *Mokuzai Gakkaishi* 40: 1157-1164.
 51. -Van Der Put, T.A.C.M., 1989. Deformation and damage processes in wood. Delft University Press,
 52. Delft, The Netherlands., 154p.
 53. -Zhang, W., Tokumoto, M., and Takeda, T., 2007. Effect of temperature on mechano-sorptive creep of
 54. delignified wood. *Journal of wood Science*, 53(3):187-191.

