

توان نگهداری و مقاومت برش جانبی اتصال‌دهنده میخ در چوب سرو (*Cupressus arizonica*) تیمار

شده با مواد حفاظتی ACC و ACQ با تأکید بر استفاده NLT

چکیده

پانل چوب لایه‌های درز شده با میخ (NLT) جزء فرآورده‌های مهندسی شده چوبی هستند که کاربرد ساختمانی فراوان دارند. با توجه به ماهیت ساخت NLT این محصول تمایل بالا به جذب رطوبت داشته و سرعت دفع رطوبت از آنها نیز به آهستگی رخ می‌دهد؛ بنابراین حفاظت این فرآورده در برابر رطوبت و عوامل مخرب امر ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش تأثیر مواد حفاظتی ACC و ACQ بر عملکرد توان نگهداری و برش جانبی اتصال‌دهنده میخ در گونه سرو (*Cupressus arizonica*) با تأکید بر استفاده در لایه‌های درز شده با میخ (NLT) مورد بررسی قرار گرفته است. برای تیمار لایه‌ها از محلول‌های حفاظتی با غلظت ۳ درصد برای دستیابی به حداقل ماندگاری مورد نیاز برای مصارف در تماس با زمین طبق الزامات AWPA استفاده شد. آزمون‌های توان نگهداری، بار برش جانبی میخ به ترتیب با استاندارد NDS و فرمول‌های حد تسلیم مطابقت داده شدند. نتایج نشان داده‌اند که مواد حفاظتی ACC و ACQ اثر نامطلوبی بر مقاومت‌های مکانیکی آزمون شده در این پژوهش ندارند و همین امر باعث می‌شود محدودیتی برای ساخت NLT از گونه‌های اشباع شده با این مواد حفاظتی در گونه سرو وجود نداشته باشد. همچنین نتایج نشان داده‌اند که همخوانی خوبی بین مقاومت پیش‌بینی شده با معادلات ارائه شده در NDS و نتایج تجربی وجود داشته است. مد شکست III_s در نمونه‌های اشباع شده و نمونه شاهد مشاهده شده است.

واژگان کلیدی: توان نگهداری میخ، مقاومت برش جانبی، NLT، مواد حفاظتی، NDS.

مقدمه

قبل از دسترسی به فولاد و بتن مسلح، چوب به عنوان ماده اولیه ساختمانی در آمریکای شمالی و دیگر نقاط جهان که از نظر چوب غنی بودند، مطرح بود [۱]. با این حال، منابع این ماده ساختمانی طبیعی در دوره‌های اخیر دستخوش تغییراتی شده است و به‌کارگیری گرده-بینه‌های کم قطر و گونه‌های تند رشد تولید شده در

زهرا بهمنی^۱
پیام مرادپور^{۲*}
اصغر طارمیان^۳

^۱ دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

^۲ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

^۳ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

مسئول مکاتبات:

pmoradpour@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۹

جنگل‌های دست کاشت در ساخت محصولات چوبی، توسعه یافته است و محصولات چوبی سنتی به محصولات مهندسی شده چوبی (EWP) تکامل یافته‌اند. در ابتدا، توسعه فرآورده‌های مهندسی شده چوبی بیشتر بر روی

۱۰ درصد گزارش شده است [۷]. بررسی‌ها نشان داده‌اند که ظرفیت توان نگهداری انواع میخ آلومینیومی تحت تأثیر درصد رطوبت چوب است به طوری که تغییرات درصد رطوبت چوب باعث کاهش ظرفیت توان نگهداری میخ می‌شود و این کاهش مقاومت با افزایش درصد رطوبت بیشتر شده است [۸]. همچنین چرخه تر و خشک بر ظرفیت توان نگهداری اتصال دهنده میخ تأثیرگذار است. به طوری که ظرفیت توان نگهداری میخ در چرخه اول تر و خشک افزایش یافته است؛ ولی این مقاومت در چرخه‌های با تعداد سه بار کاهش یافته است [۹]. جنس اعضای اتصال نیز می‌تواند بر توان نگهداری اتصال دهنده اثرگذار باشد. به طوری که مقاومت اتصال‌های ساخته شده از جنس چوب و تخته لایه نسبت به تخته خرده چوب و تخته تراشه جهت‌دار بیشتر بوده است [۱۰]. همچنین توان نگهداری اتصال دهنده متأثر از جهت نفوذ در چوب یا فرآورده مهندسی شده است. عملکرد این اتصال‌دهنده‌ها در جهت عمود بر الیاف نسبت به حالتی که جهت موازی با الیاف قرار می‌گیرد بهتر بوده است [۱۱-۱۴]. توان نگه‌داری فرآورده‌های چوبی می‌تواند تحت تأثیر ماده حفاظتی استفاده شده نیز قرار گیرد به طوری که نتایج پژوهشی نشان داده است که تخته خرده چوب و MDF حفاظت شده با مواد حفاظتی AC و ACC باعث کاهش مقاومت یاد شده می‌شود این در حالی است که همین مواد حفاظتی باعث افزایش توان نگهداری تخته لایه شده‌اند [۱۵]. نتایج مربوط به بررسی خواص مکانیکی گلولام (GLT) با ماده حفاظتی ACQ نشان داده است که این ماده حفاظتی تأثیر معناداری بر روی خواص مکانیکی GLT نداشته است [۱۶]. همچنین گزارش شده است ماده حفاظتی Wolmanit-CX-8 و ACQ-1900 باعث افزایش مقاومت MOR شده است [۱۷]. در فرآورده‌های چوبی که برای تولید آنها ماهیت چوب کمتر تغییر می‌کند ظرفیت نهایی توان نگهداری میخ با استناد از آیین‌نامه طراحی سازه‌های چوبی (NDS) به دست می‌آید که میزان آن متأثر از دانسیته چوب است. این ظرفیت برای گونه‌های سوزنی‌برگ تیمار نشده است [۱۸]. در حالی که تیمار چوب آلات با مواد حفاظتی می‌تواند بر ظرفیت تحمل بار اتصال دهنده مؤثر باشد؛ بنابراین اعتبارسنجی این معادلات برای

تولید محصولاتی با قابلیت و توانایی جایگزینی الوار و تخته‌ها با ابعاد کوچک به عنوان عناصر اصلی سازه‌های چوبی سبک با قاب، متمرکز بود، اما در دهه‌های اخیر توجه زیادی به تولید محصولات چوبی حجیم (MTP) جلب شده است. اصطلاح MTP بیانگر یک خانواده از فرآورده‌های مهندسی شده چوب با ابعاد بزرگ است که به عنوان جایگزین مناسب به جای استفاده از فولاد و بتن مسلح در صنعت ساخت و ساز معرفی می‌شود [۲]. این فرآورده‌های سازه‌ای و ساختمانی شامل محصولات با ضخامت بالا مانند GLT^2 ، CLT^3 ، انواع الوار چندسازه ساختمانی (SCL) مانند LVL^5 ، PSL^6 ، LSL^7 ، OSL^8 ، و همچنین عناصر لایه‌ای متصل شده با اتصال دهنده مکانیکی مانند پنل لایه‌های درز شده با میخ (NLT) و چندسازه لایه‌ای درز شده با پین (DLT) است. ساختار پانل‌های NLT به این شکل است که الوار چوبی چیده شده روی لبه (ضخامت) و در راستای عمودی برای تولید اجزای سازه‌ای مسطح بزرگ با میخ به یکدیگر درز می‌شوند (شکل ۱) [۳].

میخ‌ها یکی از قدیمی‌ترین و رایج‌ترین انواع اتصال‌دهنده‌های مورد استفاده در سازه‌های چوبی هستند [۴]. ظرفیت توان نگهداری میخ به عنوان عاملی برای تعیین مقاومت اتصال با میخ تعریف می‌شود که به عوامل زیادی از جمله شکل هندسی اتصال دهنده، قطر و عمق نفوذ و جهت بار با زاویه الیاف، درصد رطوبت و دانسیته چوب، نوع پوشش سطحی چوب و زمان ماندگاری میخ در چوب، بستگی دارد [۵ و ۶]. بررسی انجام شده بر روی چوب کاج جنگلی (*Pinus sylvestris*) نشان داده است توان نگهداری میخ در جوان چوب این گونه نسبت به چوب بالغ آن کمتر است. این میزان کاهش مقاومت در جهت عمود بر الیاف ۳۰ درصد و در جهت موازی با الیاف

¹ Mass Timber Products

² Glued Laminated Timber

³ Cross Laminated Timber

⁴ Structural Composite Lumber

⁵ Laminated Veneer Lumber

⁶ Parallel Strand Lumber

⁷ Laminated Strand Lumber

⁸ Oriented Strand Lumber

⁹ Nail Laminated Timber

⁰ Dowel Laminated Timber

دهنده میخ در چوب سرو با تأکید بر استفاده در NLT مورد بررسی قرار گرفته است.

چوب آلات حفاظت شده برای استفاده در فرآورده‌های مهندسی شده برای طراحان سازه‌های چوبی می‌تواند مفید باشد. از این رو در این پژوهش تأثیر مواد حفاظتی ACC و ACQ بر ظرفیت توان نگهداری و بار برش جانبی اتصال



شکل ۱- طرح شماتیکی از پانل NLT و نحوه اتصال الوار چوبی با میخ

گروه علوم و صنایع چوب دانشگاه تهران با مواد حفاظتی اشباع شدند. پس از اشباع، نمونه‌های آزمونی در محیط آزمایشگاهی برای مدت دو ماه قرار گرفتند و از تثبیت مواد حفاظتی و خشک شدن نمونه‌ها اطمینان حاصل شد. آزمون‌های توان نگهداری میخ، نیروی برش جانبی، مقاومت تکیه‌گاه پینی و برش موازی با الیاف برای سه تیمار ACC، ACQ و شاهد توسط ماشین آزمونگر WOLPERT ساخت کشور آلمان انجام شد. برای هر آزمون ۵ تکرار در نظر گرفته شد. از نرم‌افزار SPSS برای تجزیه تحلیل داده‌ها و از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. از میخ مته‌ای از جنس فولاد تهیه شده از شرکت ویستا برای ساخت آزمون‌ها استفاده شد (شکل ۲). شمایی از آزمون‌های مورد ارزیابی در این پژوهش در شکل ۳ نشان داده شده است.

مواد و روش‌ها

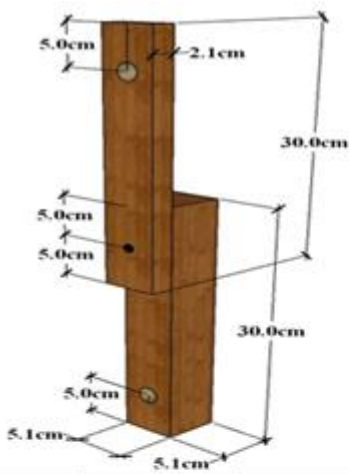
در این پژوهش از گونه سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica*) استحصال شده از جنگل مصنوعی سرو سیمین دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران استفاده شد. بدین منظور ابتدا گرده‌بینه‌های استحصال شده به الوار تبدیل شدند و این الوارها به مدت سه ماه (خرداد، تیر و مرداد) در هوای آزاد خشک شدند و سپس نمونه‌های آزمونی مطابق با استانداردهای مربوطه که در جدول (۱) ارائه شده است، تهیه شدند. نمونه‌های آزمونی در اتاق کلیما تا رسیدن به رطوبت تعادل 12 ± 2 درصد متعادل-سازی شدند. برای اشباع نمونه‌ها از مواد حفاظتی ACC و ACQ استفاده شد. در مورد هر دو نوع ماده حفاظتی، از محلول‌های حفاظتی با غلظت ۳ درصد استفاده شد. نمونه‌های آزمونی خشک شده با فرایند خلأ/فشار به روش سلول پر و با استفاده از سیلندر اشباع آزمایشگاه حفاظت

جدول ۱- نوع آزمون و استانداردهای مورد استفاده [۱۹-۲۲]

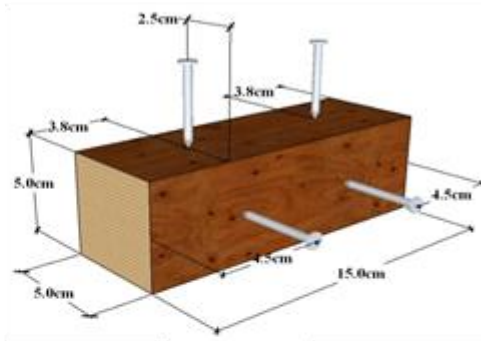
استاندارد مورد استفاده	نوع آزمون
ASTM D1761-88	توان نگهداری میخ
ASTM D1761-88	نیروی بار برشی جانبی
ASTM F1575-03	حد تسلیم میخ
ASTM D5764-97a	تکیه‌گاه پینی
AWPA- P5-00	حفاظت چوب



شکل ۲- میخ استفاده شده در این پژوهش



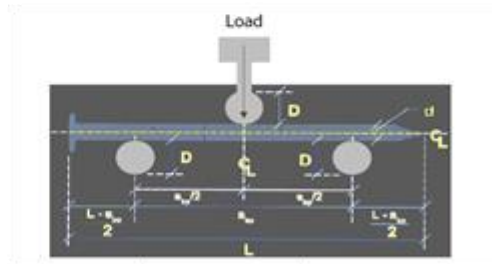
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۳- شمایی از نمونه‌ها، (الف) آزمون توان نگهداری میخ، (ب) آزمون نیروی بار برش جانبی، (ج) آزمون حد تسلیم میخ، (د) آزمون تکیه‌گاه پینی

الگوی استاندارد میخ‌ها با عمق نفوذ ۳۲ میلی‌متر در چوب کوبیده شدند. برای سوراخ پیش‌ساخته از مته با قطر ۷۵ درصد قطر میخ استفاده شد. بیشترین بار ثبت شده به عنوان توان نگهداری اتصال دهنده میخ در نظر گرفته شد.

آزمون توان نگهداری

برای بررسی توان نگهداری، نمونه‌ها مطابق با استاندارد ASTM D1761 و به ابعاد ۱۵۰×۵۰×۵۰ میلی‌متر برش زده شدند (شکل ۳ الف). سپس بر اساس

$$M_y = \frac{P_y S_{bp}}{4} \quad (2)$$

$$S = \frac{D^3}{6} \quad (3)$$

آزمون تکیه‌گاه پینی

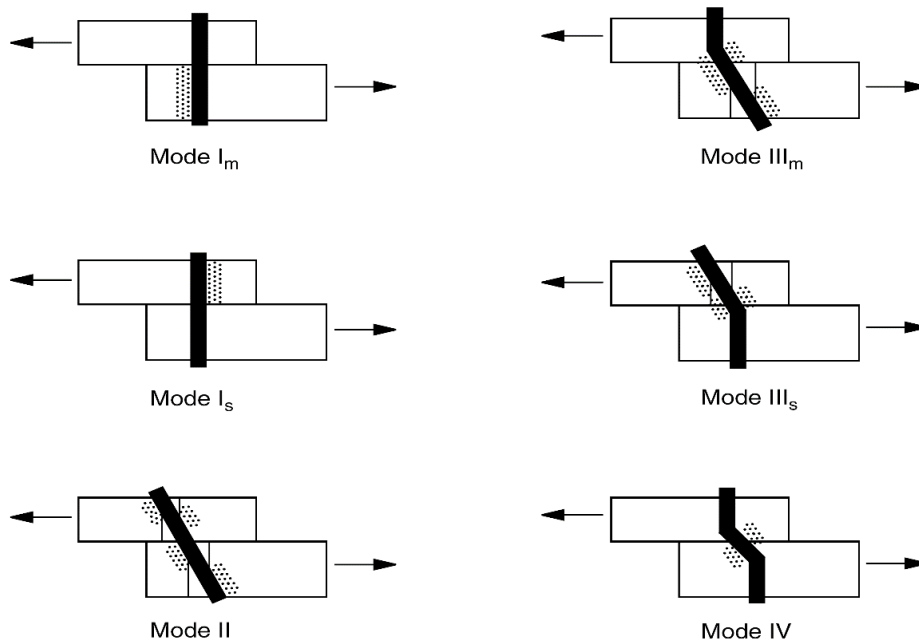
آزمون مقاومت تکیه‌گاه پینی بر اساس استاندارد ASTM D5764-97a برای میخ مورد استفاده در اتصال زیر بار برشی انجام شد (شکل ۳ د). مطابق استاندارد سرعت بارگذاری ۱ mm/min تنظیم شد. برای محاسبه تنش تکیه‌گاهی از فرمول زیر استفاده شد.

که در آن F_e (N/mm^2) تنش تکیه‌گاهی میخ، P_y (N) نیروی حد تسلیم و t (mm) و D_r (mm) به ترتیب مربوط به ضخامت عضو و قطر میخ است.

$$F_e = \frac{P_y}{tD_r} \quad (4)$$

مدهای حد تسلیم

پس از انجام آزمون بار برش جانبی میخ و مشاهده مدهای شکست حاصل از آن، با توجه به مدهای شکست (شکل ۴) و معادلات ارائه شده در NDS (معادلات ۵ تا ۱۳)، ظرفیت بار برش جانبی طراحی محاسبه شد [۱۸].



شکل ۴- مدهای شکست در آزمون دو عضوی (یک صفحه برش) [۱۸]

آزمون برش جانبی

آزمون برش جانبی، جهت اطلاع از عملکرد اتصال دهند میخ در برابر بار برشی انجام شد. آزمون روی اتصال دو عضوی (با یک صفحه برش) انجام شد (شکل ۳ ب). مطابق استاندارد فاصله تا انتهای عضو اصلی و عضو فرعی ۵۰ میلی‌متر بود. برای محاسبه بار برش جانبی از معادلات موجود در NDS با توجه به مدهای شکست، استفاده شد. برای انجام این آزمون متغیرهای مقاومت حد تسلیم خمشی میخ و مقاومت تکیه‌گاه پینی گونه سرو، به روش زیر انجام شد.

آزمون حد تسلیم خمشی میخ

آزمون مقاومت حد تسلیم خمشی بر اساس استاندارد ASTM F1575-03 انجام شد (شکل ۳ ج). سرعت بارگذاری ۶ mm/min تنظیم شد. برای محاسبه مقاومت خمشی حد تسلیم میخ از فرمول زیر استفاده شد.

که در آن F_{yb} (N/mm^2) مقاومت حد تسلیم خمشی میخ، S (mm^3) مدول اینرسی مقطع، M_y (N.m) لنگر خمشی، P_y (N) نیروی حد تسلیم، S_{bp} (mm) طول دهانه و D (mm) طول میخ است.

$$F_{yb} = \frac{M_y}{S} \quad (1)$$

$$Z = \frac{K_1 D t_s F_{es}}{R_d} \quad II \quad (7)$$

$$Z = \frac{K_2 D t_m F_{em}}{(1 + 2R_e) R_d} \quad III_m \quad (8)$$

$$Z = \frac{K_3 D t_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d} \quad III_s \quad (9)$$

$$Z = \frac{D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2F_{em} F_{yb}}{3(1 + R_e)}} \quad IV \quad (10)$$

در این مدها:

مد I_m : له شدگی در عضو اصلی

مد I_s : له شدگی رد عضو فرعی

مد II : چرخش اتصال دهنده

مد III_m : تغییر شکل خمیری و له شدگی در عضو اصلی

مد III_s : تغییر شکل خمیری و له شدگی در عضو فرعی

مد IV : تغییر مکان خمیری در هر صفحه برش

$$Z = \frac{D t_m F_{em}}{R_d} \quad I_m \quad (5)$$

$$Z = \frac{D t_s F_{es}}{R_d} \quad I_s \quad (6)$$

$$K_1 = \frac{\sqrt{R_e + 2R_e^2(1 + R_t + R_t^2 + R_t^2 R_e^3 - R_e(1 + R_t))}}{(1 + R_e)} \quad (11)$$

$$K_2 = -1 + \sqrt{2(1 + R_e) + \frac{2F_{yb}(1 + 2R_e)D^2}{3F_{em}l_m^2}} \quad (12)$$

$$K_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(2 + R_e)D^2}{3F_{em}l_m^2}} \quad (13)$$

میخ در آزمون‌های تیمار شده با ACQ به میزان ۱۳۹۸ نیوتن مشاهده شده است. در آزمون بار برش جانبی آزمون‌های تیمار شده با ACC بیشترین مقاومت را داشته- اند (۳۵۰۰ نیوتن). بیشترین مقاومت تکیه‌گاه پینی مربوط به آزمون‌های تیمار شده با ACQ بوده است (۲۲/۴۴ نیوتن بر میلی‌مترمربع). نتایج مربوط به تجزیه واریانس آزمون مقاومت برشی موازی با الیاف، توان نگهداری میخ، نیروی برش جانبی و تکیه‌گاه پینی آزمون‌های تیمار شده با مواد حفاظتی و آزمون شاهد در جدول ۳ ارائه شده است. مطابق این جدول که با پیش‌شرط برابری واریانس‌ها انتخاب شده است، مشاهده می‌شود که Sig در قسمت بین‌گروهی در آزمون مقاومت برشی موازی با الیاف و تکیه‌گاه پینی بزرگ‌تر از ۰/۰۵ است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد بین متغیرهای بررسی‌شده وجود ندارد. به عبارتی

که در آن Z نیروی برشی اسمی طراحی (N)، D قطر میخ (mm)، t_s ضخامت عضو فرعی (mm)، F_{es} مقاومت تکیه‌گاه پینی عضو فرعی (N/mm²)، F_{em} مقاومت تکیه‌گاه پینی عضو اصلی اتصال (N/mm²)، F_{yb} مقاومت حد تسلیم میخ (N/mm²)، R_e نسبت و R_t نسبت است. مقدار ضریب R_d ، ۲/۲ برای $D \geq 32/4$ mm است.

نتایج و بحث

در جدول ۲ مقادیر میانگین و ضریب تغییرات مربوط به آزمون مقاومت برش موازی با الیاف، توان نگهداری میخ، بار برش جانبی و تکیه‌گاه پینی آزمون‌های تیمار شده با مواد حفاظتی و آزمون شاهد نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود بیشترین مقاومت برش موازی با الیاف مربوط به آزمون‌های شاهد به میزان ۹/۵۸ نیوتن بر میلی‌مترمربع بوده است. بیشترین میزان توان نگهداری

حفاظت گونه سرو با مواد حفاظتی ACC و ACQ تأثیر معنی‌داری بر مقاومت برش موازی با الیاف و مقاومت تکیه‌گاه پینی این گونه نداشته است. در آزمون توان نگه-داری میخ و نیروی برش جانبی مشاهده می‌شود اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد بین متغیرهای مورد بررسی وجود داشته است.

جدول ۲- مقادیر میانگین و ضریب تغییرات آزمون‌های مقاومت برش موازی با الیاف، توان نگه‌داری میخ، نیروی برش جانبی اتصال و تکیه‌گاه پینی

تیمار	مقاومت برش موازی با الیاف		توان نگه‌داری میخ		نیروی برش جانبی اتصال		تکیه‌گاه پینی	
	مقاومت برشی (N/mm ²)	CV (%)	توان نگه‌داری میخ (N)	CV (%)	نیروی برشی (N)	CV (%)	تنش تکیه‌گاهی (N/mm ²)	CV (%)
ACC	۸/۸۸	۱۴/۴	۱۲۲۷/۶	۹/۷	۳۵۰۰	۱۸/۲	۴۳/۸۳	۱/۶
ACQ	۹/۴۸	۱۴/۵	۱۳۹۸	۲۳/۲	۳۰۶۰	۱۱/۷	۴۴/۲۲	۲/۵
شاهد	۹/۵۸	۷/۵	۸۴۰	۱۴/۵	۲۴۲۷	۴/۴	۴۲/۶۲	۷/۵

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس آزمون‌های مقاومت برش موازی با الیاف، توان نگه‌داری میخ، نیروی برش جانبی و تکیه‌گاه پینی

منابع تغییر	درجه آزادی	مقاومت برشی موازی با الیاف				توان نگه‌داری میخ			
		مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	Sig	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	Sig
بین‌گروهی	۲	۱/۴۴۴	۰/۷۲۲	۰/۵۲۵	۰/۶۰۴	۸۱۷۷۲۳/۲	۴۰۸۸۶۱/۶	۹/۱۰۳	۰/۰۰۴
درون‌گروهی	۱۲	۱۶/۴۹۲	۱/۳۷۴			۵۳۸۹۵۵/۲	۴۴۹۱۲/۹		
کل	۱۴	۱۷/۹۳۶				۱۳۵۶۶۷۸/۴			

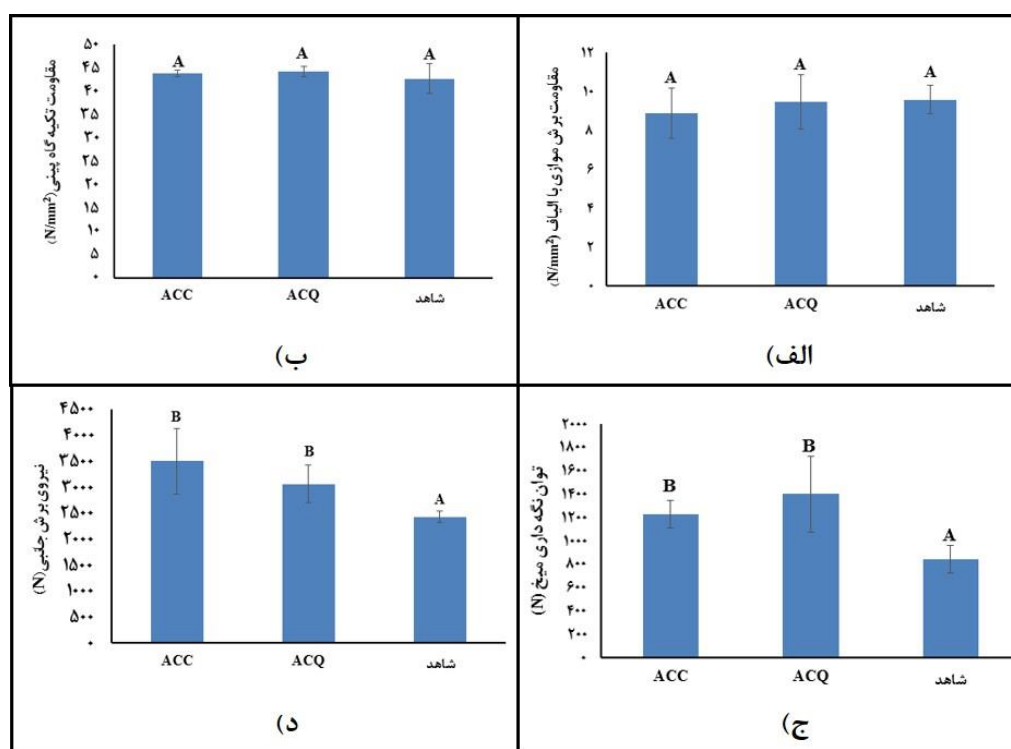
منابع تغییر	درجه آزادی	نیروی برش جانبی اتصال				تکیه‌گاه پینی			
		مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	Sig	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	Sig
بین‌گروهی	۲	۲۹۰۹۳۶۳/۳	۱۴۵۴۶۸۱/۶	۷/۹۹۶	۰/۰۰۶	۶/۹	۳/۴	۰/۱۸۷۲	۰/۴۴۳
درون‌گروهی	۱۲	۲۱۸۲۹۸۰	۱۸۱۹۱۵			۴۷/۷	۳/۹		
کل	۱۴	۵۰۹۲۳۴۳/۳				۵۴/۶			

است. در پژوهش‌های پیشین گزارش شده است که ماده حفاظتی ACQ تأثیر معنی‌داری بر خواص مکانیکی گونه-های پهن‌برگ (بلوط قرمز، راش و افرا) و همچنین گونه کاج اسکاتلندی از سوزنی‌برگان، نداشته است که با یافته-های پژوهش حاضر همخوانی دارد [۱۶ و ۱۷]. در آزمون توان نگه‌داری میخ و آزمون نیروی برش جانبی نمونه‌های حفاظت شده با مواد حفاظتی ACC و ACQ عملکرد

تأثیر نوع ماده حفاظتی بر روی آزمون‌های بررسی‌شده در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقاومت برش موازی با الیاف و مقاومت تکیه‌گاه پینی در گونه سرو اشباع شده با مواد حفاظتی ACC و ACQ با نمونه شاهد در یک سطح مقاومتی قرار دارد که بیانگر نداشتن تأثیر منفی این مواد حفاظتی بر مقاومت برش موازی با الیاف و مقاومت تکیه‌گاه پینی این گونه

همکاران ۲۰۱۴ حفاظت چندسازه‌های چوبی مانند MDF و تخته خرده چوب با مواد حفاظتی CA و CCA باعث کاهش توان نگهداری پیچ شده است. این در حالی است که در این پژوهش حفاظت تخته چندلا با مواد حفاظتی CA و CCA افزایش مقاومت توان نگهداری پیچ را در پی داشته است [۱۵] که می‌تواند گواهی بر نتایج این بخش از پژوهش حاضر باشد.

بهتری نسبت به نمونه شاهد از خود نشان دادند. در نمونه‌های اشباع شده با مواد حفاظتی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. در آزمون توان نگهداری میخ، این افزایش مقاومت نسبت به نمونه‌های شاهد به ترتیب ۴۶ و ۶۶ درصد در نمونه‌های حفاظت شده با ACC و ACQ بوده است. افزایش نیروی برش جانبی در نمونه‌های اشباع شده با ACC و ACQ نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۴۴ و ۲۶ درصد بوده است. مطابق با پژوهش Taşçıoğlu



شکل ۵- اثر نوع ماده حفاظتی بر روی آزمون‌های مورد بررسی در این پژوهش، الف) مقاومت برش موازی با الیاف، ب) مقاومت تکیه‌گاه پیچی، ج) ظرفیت توان نگهداری میخ، د) ظرفیت تحمل بار برش جانبی

داری در نمونه‌های اشباع شده با ماده حفاظتی ACC و شاهد داشته است و این معادلات به ترتیب با خطای ۲/۸۲ و ۴۲/۰۲ درصد توان نگهداری میخ را در گونه سرو پیش‌بینی کرده‌اند. در نمونه‌های اشباع شده با ماده حفاظتی معادله ۲ نزدیک‌ترین همخوانی را داشته است. بررسی توان نگهداری اتصال دهنده پیچ و میخ در گونه سرو کوهی با استفاده از معادله ارائه شده در NDS نشان داده است با استفاده از این معادله توان نگهداری پیچ و

پیش‌بینی توان نگهداری میخ

متداول‌ترین مدل‌های استفاده شد در ظرفیت توان نگهداری میخ در جدول ۴ ارائه شده است. برای اعتبارسنجی، آزمون توان نگهداری میخ با معادلات ارائه شده در این جدول مورد مقایسه قرار گرفته است. در جدول ۵ آزمون توان نگهداری با نتایج حاصل از معادلات ارائه شده مقایسه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود معادله ۵ بیشترین همخوانی را با آزمون توان نگه-

پیچ در سه گونه راش، ممرز و صنوبر را به ترتیب با ضریب خطای ۲۱، ۱۲ و ۲۵ درصد پیش‌بینی کرده است [۲۶].

میخ با ضریب خطای ۱۳ و ۱۶ درصد قابل پیش‌بینی است [۲۵]. همچنین معادله ارائه شده در NDS توان نگهداری

جدول ۴- مدل‌های استفاده شده برای پیش‌بینی توان نگهداری میخ

مدل	معادله توان نگهداری میخ (N)	منبع
۱	$W=73.11\rho^2DL$	FLP-GTR-190[۵]
۲	$W=98\rho^{2.5}D$] \ANDS [
۳	$W=77.51\rho^2D$	Rammer and Zelinca [۲۴]
۴	$W=42.8\rho^{1.38}D$	Rammer et. al. [۲۵]
۵	$W=29.6\rho^{1.28}D$	Rammer et. al. [۲۶]

جدول ۵- مقایسه نتایج تجربی و پیش‌بینی شده توان نگهداری میخ با ضریب خطای مدل

متغیرها	نتایج مشاهده شده (N)	نتایج پیش‌بینی شده با استفاده از مدل (N)			
		۱	۲	۳	۴
ACC	۱۲۲۷/۶	۱۶۵۸/۱۳	۱۴۹۰/۹۹	۱۷۵۷/۹۳	۱۵۹۲/۵۶
	درصد خطا	-۳۵/۰۷	-۲۱/۴۶	-۴۳/۲	-۲۹/۷۳
ACQ	۱۳۹۸	۱۶۵۸/۱۳	۱۴۹۰/۹۹	۱۷۵۷/۹۳	۱۵۹۲/۵۶
	درصد خطا	-۱۸/۶۱	-۰/۰۷	-۰/۲۶	-۰/۱۴
شاهد	۸۴۰	۱۶۵۸/۱۳	۱۴۹۰/۹۹	۱۷۵۷/۹۳	۱۵۹۲/۵۶
	درصد خطا	-۹۷/۴	-۷۷/۵	-۱۰۹/۲۸	-۸۹/۵۹

نیروی برش جانبی

پس از انجام آزمایش بار برش جانبی، اتصال ساخته شده برای تجزیه و تحلیل شکست به صورت طولی برش زده شدند. در بررسی محور میخ و محل اتصال اعضا حالت شکست با استفاده از معادلات ارائه شده در NDS مدل بار حد تسلیم پیش‌بینی شده انتخاب شد و با بار تسلیم اندازه‌گیری شده مقایسه شد. مقایسه نتایج تجربی و نتایج حاصل از مدل پیش‌بینی حد تسلیم با ضریب خطای در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به مد شکست نمونه‌ها زیر بار برشی، مد شکست III_s دیده شده است. در این مد شکست تغییر شکل خمیری اتصال دهنده و له شدگی در عضو فرعی دیده شد. این مد شکست برای هر سه تیمار رخ داده است (شکل ۶). این مد شکست در گونه صنوبر در نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش تاج و همکاران (۲۰۰۹) نیز دیده شده است [۲۶]. در جدول ۶ دیده می‌شود دقت

پیش‌بینی معادله حد تسلیم مد شکست برای آزمون‌های تیمار شده با مواد حفاظتی ACC، ACQ و شاهد به ترتیب ۶۹/۹۲، ۶۵/۲۸ و ۵۷/۸۱ درصد بوده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود دقت پیش‌بینی در آزمون شاهد بهتر بوده است که نشان‌دهنده تطبیق بهتر معادلات ارائه شده در NDS با گونه‌های تیمار نشده است. در بررسی دقت پیش‌بینی معادلات NDS در پژوهش‌های پیشین بر روی اتصال دهنده پیچ و میخ نتایج مشابهی به دست آمده است. به طوری که دقت پیش‌بینی معادلات NDS در بار برش جانبی اتصال دهنده پیچ برای گونه‌های راش، ممرز و صنوبر به ترتیب ۱۲، ۱۵ و ۱۵ درصد گزارش شده است [۲۶]. این کمیت در اتصال دهنده میخ در چوب‌های اصلاح شده در حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد گزارش شده است [۲۷].

جدول ۶- مقایسه نتایج بار حد تسلیم تجربی با بار حد تسلیم پیش‌بینی شده از فرمول مرجع و درصد اختلاف آن

متغیرها	بار حد تسلیم مشاهده شده (N)	بار حد تسلیم پیش‌بینی شده از فرمول مرجع (N)	مد شکست مشاهده شده	مد شکست پیش‌بینی شده	درصد اختلاف بین بار حد تسلیم مشاهده شده و پیش‌بینی شده
ACC	۳۵۰۰	۱۰۵۲/۸۶	III _s	III _s	+۶۹/۹۲*
ACQ	۳۰۶۰	۱۰۶۲/۴۷	III _s	III _s	+۶۵/۲۸
شاهد	۲۴۲۷	۱۰۲۴/۰۳	III _s	III _s	+۵۷/۸۱

*علامت مثبت نشان دهنده بیشتر بودن میانگین بار حد تسلیم مشاهده شده نسبت به بار حد تسلیم پیش‌بینی شده است.



شکل ۶- الف) مد شکست III_s تغییر شکل خمیری اتصال دهنده و له شدگی در عضو فرعی و اصلی (نزدیک صفحه برش)، ب) تغییر شکل خمیری اتصال دهنده

نتیجه‌گیری

اطلاع از توان نگهداری و ظرفیت تحمل بار برش جانبی اتصال دهنده میخ در گونه‌های مورد استفاده در ساخت NLT برای طراحان سازه‌های چوبی امری ضروری است؛ بنابراین در این پژوهش توان نگهداری و برش جانبی اتصال دهنده میخ در چوب تیمار شده سرو با مواد حفاظتی ACC و ACQ با تأکید بر استفاده در NLT مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از آن با معادلات ارائه شده در NDS مقایسه شدند. نتایج نشان داده که حفاظت چوب با مواد حفاظتی ACC و ACQ تأثیر منفی بر توان نگهداری و ظرفیت تحمل بار برش جانبی اتصال دهنده میخ به عنوان تنها اتصال دهنده در ساخت NLT، نداشته است. این امر بیانگر این است که استفاده از گونه‌های تیمار شده در ساخت NLT نمی‌تواند محدودیتی

ایجاد کند و استفاده از NLT در سازه‌های که در تماس با رطوبت هستند با استفاده از گونه‌های حفاظت شده را میسر می‌سازد. همچنین نتایج نشان داده‌اند که توان نگه‌داری گونه سرو حفاظت شده با مواد حفاظتی ACC و ACQ را می‌توان با معادله ارائه شده در NDS و یا معادلات ارائه شده در پژوهش‌های پیشین در حد مطلوبی پیش‌بینی کرد. در ارزیابی مقاومت تکیه‌گاه پینی و نیروی برش موازی با الیاف که به عنوان دو شاخص مهم در چندسازه مهندسی شده NLT همواره مورد توجه قرار می‌گیرد، گونه سرو اشباع شده با مواد حفاظتی ACC و ACQ، عملکردی خوبی را از خود نشان داد که موید مثبت بودن این مواد حفاظتی در عملکرد سازه‌های NLT است. در ظرفیت تحمل بار برش جانبی اتصال دهنده میخ، نتایج تجربی همخوانی خوبی با نتایج برآورده شده از

های اشباع شده با این مواد حفاظتی برای طراحی بار مجاز بکار گرفت.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی و معنوی معاونت پژوهش و فناوری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران به شماره گزنت (۳۰۵۴۱/۰۶/۱۸) انجام شده است.

معادلات ارائه شده در NDS بود. مد شکست نمونه‌ها در این آزمون از نوع III_s بود که در آن تغییر شکل خمیری اتصال دهنده و له شدگی در عضو فرعی دیده شد. همچنین با توجه به اینکه نتایج به‌دست‌آمده از معادلات NDS کمتر از حد واقعی به‌ویژه در نمونه‌های اشباع شده با مواد حفاظتی ACC و ACQ بود، بنابراین می‌توان این معادلات را بدون لحاظ‌کردن ضریب تصحیح برای گونه-

منابع

- [1] Esteves, B., Nunes, L. and Pereira, H., 2011. Properties of furfurylated wood (Pinus pinaster). *European Journal of Wood and Wood Products*, 69(4): 521-525.
- [2] Harte, A.M., 2017. Mass timber—the emergence of a modern construction material. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, 2(3):121-132.
- [3] Council, B.S.L., *Nail-Laminated Timber: US Design & Construction Guide*. I. 2018. 142p.
- [4] Teng, Q., Que, Z., Li, Z. and Zhang X. 2018. Effect of installed angle on the withdrawal capacity of self-tapping screws and nails; *Proceedings of the World Conference of Timber Engineering*. August 20–23. Seoul, Korea.
- [5] Ross, R.J. 2010. *Wood handbook: wood as an engineering material*. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190. 509 p.
- [6] Kiliç, M., Burdurlu, E., İlker, U.S.T.A., Berker, U.Ö. and Oduncu, P. 2007. Comparative analysis of the nail and screw withdrawal resistances of fir (Abies Mill.), cherry (Prunus Avium L.), walnut (Juglans Regia L.) and oak (Quercus L.) wood. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, 2(2): 61-75.
- [7] Helinska-Raczkowska, L. 1993. Withdrawal Resistance of Nails from Juvenile Wood of Scots Pine. *Sylwan*, 137(9): 31-36.
- [8] Yermán, L., Ottenhaus, L.M., Montoya, C. and Morrell, J.J. 2021. Effect of repeated wetting and drying on withdrawal capacity and corrosion of nails in treated and untreated timber. *Construction and Building Materials*, 284: 122878.
- [9] Rammer, D.R. 2004. Review of end grain nail withdrawal research. US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 151.
- [10] Chen, G., Zhang, E., Wu, D., Wang, C. and Zhou, T., 2022. Withdrawal behaviour of mechanical fasteners on laminated bamboo lumber. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, 27: 1-11.
- [11] Abdoli, F., Rashidi, M., Rostampour-Haftkhani, A., Layeghi, M. and Ebrahimi, G. 2022. Withdrawal Performance of Nails and Screws in Cross-Laminated Timber (CLT) Made of Poplar (Populus alba) and Fir (Abies alba). *Polymers*, 14(15): 3129.
- [12] Abdoli, F., Rashidi, M., Rostampour-Haftkhani, A., Layeghi, M. and Ebrahimi, G. 2023. Effects of fastener type, end distance, layer arrangement, and panel strength direction on lateral resistance of single shear lap joints in cross-laminated timber (CLT). *Case Studies in Construction Materials*, 18, p.e01727.
- [13] Dalvand, M., Pourtahmasi, K. and Ebrahimi, G. 2018. Investigation of the relations between screw diameter and pilot hole diameter with withdrawal resistance in LVL for establishing regression model. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 8(4): 549-561. (In Persian).

- [14] Maleki, S., Dalvand, M. and Gholamian, H. 2013. Determination of Screw and Nail Withdrawal Strengths in Parallel and Perpendicular to Grain of some Hardwoods of Iran. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 3(2):171-180. (In Persian).
- [15] Taşçıoğlu, C., Akçay, Ç., Yalçın, M. and Şahin, H.I. 2014. Effects of post-treatment with CA and CCA on screw withdrawal resistance of wood based composites. *Wood Research*, 59(2): 343-350.
- [16] Yang, T.H., Lin, C.H., Wang, S.Y. and Lin, F.C. 2012. Effects of ACQ preservative treatment on the mechanical properties of hardwood glulam. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(5): 557-564.
- [17] Yildiz, U.C., Temiz, A., Gezer, E.D. and Yildiz, S. 2004. Effects of the wood preservatives on mechanical properties of yellow pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. *Building and Environment*, 39(9): 1071-1075.
- [18] National design specification for wood construction: recommended practice for structural design, National Forest Products Association, NDS, 2015.
- [19] Standard test methods for small clear specimens of timber. American Society of Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, D 1761-88, 2003.
- [20] Subcommittee, A.S.T.M., 2003. Standard test method for determining bending yield moment of nails. American Society of Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, F 1575-08.
- [21] Subcommittee, A.S.T.M., 2003. Standard test method for determining bending yield moment of nails. American Society of Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, D 5764-97a.
- [22] American Wood Protection Association Standards. Standard for waterborne preservatives, P5- 00, 2000.
- [23] Rammer, D.R. and Zelinka, S.L. 2015. Withdrawal strength and bending yield strength of stainless-steel nails. *Journal of Structural Engineering*, 141(5): 1-7.
- [24] Rammer, D.R., Winistorfer, S.G. and Bender, D.A. 2001. Withdrawal strength of threaded nails. *Journal of structural engineering*, 127(4): 442-449.
- [25] Morris, H., Sinha, A. and Miyamoto, B.T. 2018. Lateral Connections and Withdrawal Capacity of Western Juniper. *Wood and Fiber Science*, 50(1): 1-8.
- [26] Taj, M.A., Kazemi Najafi, S. and Ebrahimi, G. 2009. Withdrawal and lateral resistance of wood screw in beech, hornbeam and poplar. *European Journal of Wood and Wood Products*, 67(2): 135-140.
- [27] Sinha, A., Gupta, R. and Nairn, J.A. 2011. Thermal degradation of lateral yield strength of nailed wood connections. *Journal of materials in civil engineering*, 23(6): 812-822.

Withdrawal resistance and lateral shear strength of the nail connector in cypress wood (*Cupressus arizonica*) treated with ACC and ACQ with emphasis on the use in NLT

Abstract

Nail laminated timber (NLT) is one of the engineered wood products which is widely used in construction. Due to the structure of NLT, it has a high tendency to absorb moisture and its moisture loss rate also is very low. Therefore, it is necessary to protect it against humidity and degradation agents. In this study, the effect of ACC and ACQ preservatives on the performance of withdrawal resistance and lateral strength of the nail fastener in cypress wood with emphasis on the use in NLT was investigated. To treat the layers, preservative solutions with a concentration of 2% were used to achieve the minimum retention required for use with ground contact according to AWWPA requirements. Withdrawal resistance and lateral strength of nail were compared with NDS standard and yield limit formulas, respectively. Results showed that ACC and ACQ preservatives had no adverse effects on the mechanical resistance tested in this study, and thus there is no restriction to use the treated wood for manufacturing NLT. Also, the results showed that there is a good agreement between the resistance predicted by the equations presented in NDS and the experimental results. III_s failure mode was observed in the treated and control samples.

Keywords: Withdrawal resistance, Lateral shear strength, Nail laminated timber, Wood preservative, NDS.

Z. Bahmani¹
P. Moradpour^{2*}
A. Tarmian³

¹ PhD Student, Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

² Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

³ Associate Professor, Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

Corresponding author:
pmoradpour@ut.ac.ir

Received: 2022/12/02
Accepted: 2023/02/08