

بررسی عددی و تجربی ظرفیت تحمل تنش اتصال گوشه‌ای L شکل تقویت شده با نبشی در صندلی چوبی زیر بار کشش قطری

سید محمدجواد موسوی حسینی^۱، حمید زارع حسین آبادی^۲، مسیب دالوند^{۳*}، پیام مرادپور^۴

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

۲. دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳. دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۴. استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۲

چکیده

اتصالات از اجزای مهم هر سازه هستند و استحکام آنها تضمین کننده استحکام سازه است. روش‌های متفاوتی برای تقویت اتصالات مبلمان وجود دارد که با توجه به موقعیت و شکل اتصال از آنها استفاده می‌شود. یکی از روش‌های تقویت اتصالات گوشه‌ای، استفاده از نبشی چوبی است. در این پژوهش تأثیر جنس و حالت فیزیکی نبشی چوبی بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال L شکل زیر بار کشش قطری بررسی شده است. به این منظور اتصال‌های L شکل با گونه راش با اتصال کام و زبانه ساخته شدند. برای تقویت اتصال‌ها از نبشی با گونه راش و صنوبر استفاده شد. نبشی برای گونه راش در سه سطح (بدون شیار، با شیار ۰/۵ و ۱ سانتی‌متر) و برای گونه صنوبر در دو سطح (بدون شیار و شیار ۱ سانتی‌متر) به‌عنوان متغیر انتخاب شد. از اتصال بدون نبشی برای مقایسه استفاده شد. براساس نتایج تجربی، استفاده از نبشی تأثیر معنی‌داری بر ظرفیت تحمل تنش اتصال داشته است. اختلاف معنی‌داری بین جنس گونه نبشی مشاهده نشد. بیشترین ظرفیت تحمل تنش اتصال مربوط به اتصال تقویت شده با نبشی از گونه صنوبر و شیار ۱ سانتی‌متر به میزان ۳۰/۳ مگاپاسکال و کمترین ظرفیت تحمل تنش مربوط به تیمار شاهد به میزان ۶/۰۶ مگاپاسکال بود. نتایج تحلیل عددی نشان داد که بیشینه تنش در اتصال‌های تقویت شده با نبشی در ناحیه شیار اعضای اتصال و همچنین خط چسب نبشی بوده است که این تمرکز تنش سبب شکست اتصال در این نقاط شده است.

واژه‌های کلیدی: اتصال گوشه‌ای، بررسی تجربی، تحلیل عددی، ظرفیت تحمل تنش، کام و زبانه، نبشی.

مقدمه

مصنوعات چوبی و سازه‌های مهندسی شده با چوب استفاده می‌شود [۲، ۳]. متغیرهای بسیاری در مقاومت اتصال کام و زبانه تأثیرگذارند که از جمله می‌توان به اندازه زبانه (طول، عرض و ضخامت)، درجه آزادی زبانه، شکل کام و زبانه، ضخامت خط چسب نوع گونه و چسب مصرفی اشاره کرد [۴-۶]. با توجه به اهمیت اتصال کام و زبانه و کاربرد بسیار آن در صنایع مبلمان، پژوهش‌های زیادی در مورد این نوع اتصال صورت گرفته است. نتایج

یکی از بخش‌های مهم هر سازه، اتصال‌های آن است. اتصال‌ها حلقه‌های حساس بین اجزای سازه‌اند که بارهای وارد شده را به‌طور پیوسته تحمل می‌کنند و عامل تعیین‌کننده‌ای در استحکام سازه‌اند [۱]. اتصال کام و زبانه از اتصال‌های پرکاربرد است که به‌صورت گسترده در

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۲۶۳۲۲۴۹۳۱۱

Email: M.dalvand@ut.ac.ir

بررسی تحلیل عددی ابعاد کام و زبانه بر مقاومت این اتصال در برابر لنگر خمشی نشان داده‌اند که طول زبانه بیشترین تأثیر را در افزایش ظرفیت لنگر خمشی داشته است، درحالی که عرض زبانه در افزایش سفتی اتصال مؤثرتر عمل کرده است [۷]. افزون‌بر ابعاد کام و زبانه، شکل آن در مقاومت اتصال تأثیرگذار است؛ به‌طوری که براساس بررسی‌ها در اتصال‌های ساخته‌شده با کام و زبانه در حالتی که انتهای کام و زبانه به‌صورت چهارگوش (مستطیل) بوده، در حدود ۱۵ درصد مقاوم‌تر از حالتی بوده که در آن انتهای کام و زبانه به‌صورت گرد بوده است [۸]. بررسی‌ها نشان داده‌اند که جا گرفتن کامل زبانه در کام تأثیر معنی‌داری بر مقاومت اتصال داشته است، به‌طوری که در حالتی که زبانه اتصال به‌صورت کامل در کام جا زده شده بود، مقاومت اتصال ۵۴ درصد افزایش یافت [۹]. نوع چسب تأثیر معنی‌داری در ظرفیت لنگر خمشی اتصال کام و زبانه داشته است. چسب پلی‌اورتان سبب افزایش ۱۳ درصدی ظرفیت لنگر خمشی اتصال کام و زبانه نسبت به اتصال‌های ساخته‌شده با چسب پلی‌وینیل استات شده است [۱۰].

با توسعه فناوری، فنون نوین مدیریت و تولید با فنون بهینه‌سازی ریاضی تلفیق شده و به‌سرعت در حوزه‌های مختلف به‌کار گرفته می‌شوند. بنابراین برای حفظ موجودیت در بازار رقابتی، صنایع تولیدی نیازمند پیشرفت فناوری با استفاده از رایانه و روش‌های بهینه‌سازی هستند [۱۱]. تحولات فناوری در صنعت تولید مبلمان مانند دیگر تولیدات صنعتی تأثیر گذاشته است. استفاده از فناوری نوین برای تقویت طراحی سازه مبلمان بسیار مهم است. طراحی مهندسی سازه مبلمان را می‌توان با استفاده از نرم‌افزارهای تحلیل سازه انجام داد. روش‌های اجزای محدود^۱ راحت‌ترین ابزار را برای تجزیه و تحلیل سازه مبلمان ارائه می‌دهد. برآورد مقاومت اعضای طراحی‌شده،

اتصال‌ها و کل سازه را می‌توان با شبیه‌سازی شرایط و بارهای واقعی به یک سیستم جامد مدل‌شده انجام داد، به‌طوری که می‌توان تنش‌ها را در ناحیه‌های مختلف اعضا به‌دست آورد [۱۲]. اسماردزوسکی و پرکرات (۲۰۰۹) روشی کامپیوتری را برای بهینه‌سازی قطر سطح مقطع اسکلت مبلمان راحتی ارائه کردند. استفاده از این روش موجب کاهش ۳۶ درصدی چوب راش و ۲۵ درصدی تخته‌خرده‌چوب در اسکلت مبلمان راحتی شده است. همچنین نتایج آنها نشان داد که کاهش بهینه ابعاد اجزای اسکلت سازه مبلمان راحتی سبب کاهش مقاومت و سفتی سازه نشده است [۱۳]. هورمان و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از شبیه‌سازی اسکلت صندلی با روش اجزای محدود دریافتند که از این روش می‌توان برای شناسایی نقاط تحت بیشینه بار و کرنش در سازه اسکلت صندلی استفاده کرد [۱۴]. حاجدارویچ و مارتینویچ (۲۰۱۴) تأثیر طول زبانه را بر انعطاف‌پذیری اتصال کام و زبانه با روش تحلیل عددی بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داده‌اند که سفتی اتصال کام و زبانه با افزایش طول زبانه افزایش یافته است. این پژوهشگران بیان داشته‌اند که سفتی اتصال‌ها تأثیر چشمگیری بر تغییر شکل اسکلت سازه مبلمان دارد [۱۵]. کزیژانیاک و اسماردزوسکی (۲۰۲۱) اتصال‌های گوشه‌ای L شکل را با روش اجزای محدود تحت بارگذاری دینامیکی با سرعت کم بررسی کرده‌اند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که توانایی اتصال برای جذب انرژی وابستگی معنی‌داری با مقدار بار و نوع مواد به‌کاررفته در سازه دارد [۱۶]. با توجه به پژوهش‌های پیشین، اطلاعات کافی در مورد متغیرهای تأثیرگذار بر مقاومت اتصال کام و زبانه در دسترس است، ولی در زمینه مقاوم‌سازی این اتصال مهم و پرکاربرد اطلاعات کمی وجود دارد.

استفاده از نبشی یکی از روش‌های مقاوم‌سازی قاب سازه مبلمان است که کاربرد گسترده‌ای در صنایع تولید مبلمان دارد. از نبشی اغلب برای افزایش مقاومت به لنگر

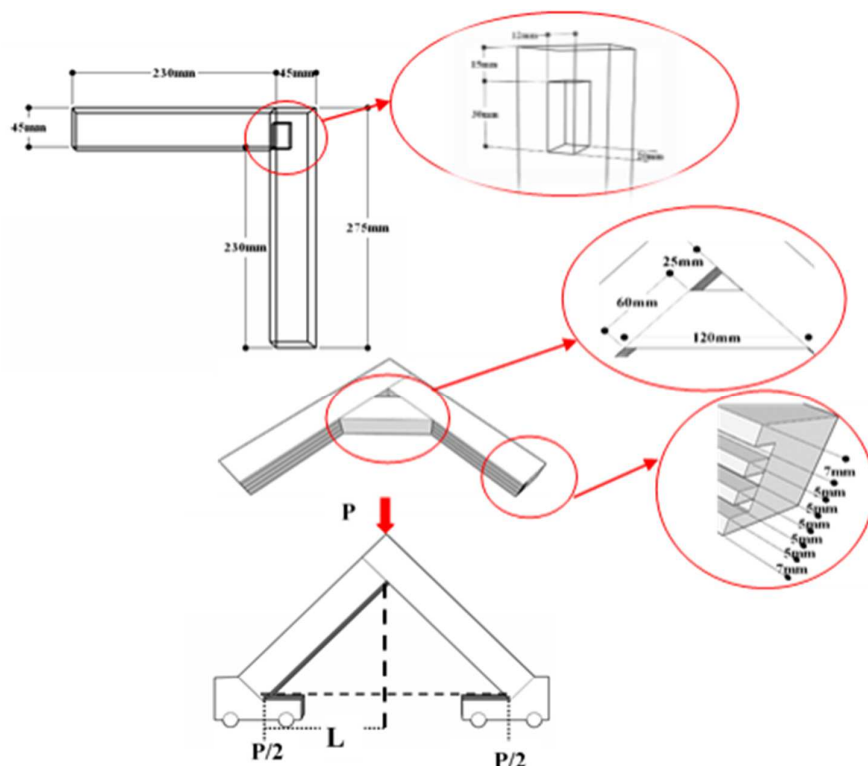
زده شدند. برای ساخت اتصالاتها از اتصال کام و زبانه استفاده شد. زبانه در قطعاتی با طول ۲۵۰ میلی‌متر ایجاد شد و برای ایجاد کام از قطعاتی با طول ۲۷۵ میلی‌متر استفاده شد. سپس برای تقویت اتصالاتها با نبشی، از نبشی راش (*Fagus orientalis*) در سه سطح (بدون شیار، با شیار ۰/۵ و ۱ سانتی‌متر) و نبشی صنوبر (*Populus deltoids*) در دو سطح (بدون شیار و شیار ۱ سانتی‌متر) استفاده شد. از چسب پلی‌وینیل استات (PVA) برای سرهم کردن اتصالاتها استفاده شد. اتصالاتهای ساخته‌شده به مدت سه هفته در دمای محیط کارگاهی برای رسیدن به رطوبت تعادل (حدود ۱۲ درصد) قرار گرفتند. نمونه‌های ساخته‌شده برای ارزیابی در حالت بارگذاری کشش قطری قرار گرفتند. شمایی از اتصالاتهای ساخته‌شده و حالت بارگذاری کشش قطری در شکل ۱ نشان داده شده است. سرعت بارگذاری ۵ mm/min تنظیم شد.

خمشی و سفتی اتصالاتها و در نتیجه افزایش مقاومت سازه در برابر بارهای واردآمده استفاده می‌شود. در این پژوهش تأثیر نبشی بر مقاومت اتصال کام و زبانه گوشه‌ای L شکل بررسی شده است. همچنین با توجه به اهمیت استفاده از تحلیل عددی در طراحی مبلمان با رعایت اصول مهندسی، اتصالاتهای مدنظر در این پژوهش با روش عددی نیز بررسی شده‌اند.

مواد و روش‌ها

ساخت اتصالاتها و شرایط بارگذاری

در این پژوهش از چوب راش وارداتی (*Fagus orientalis*) از گرجستان استفاده شد. ابتدا الوار خریداری‌شده در کوره چوب‌خشک‌کنی «گروه صنعتی داد» تا رطوبت ۸ درصد خشک شدند. سپس الوارها برای ساخت اتصال به دو سری ابعاد ۲۷۵×۴۵×۴۰ و ۲۵۰×۴۵×۴۰ میلی‌متر (طول × عرض × ضخامت) برش



شکل ۱. حالت فیزیکی اتصالاتها و نحوه بارگذاری کشش قطری

مدل انجام گرفت. برای شبکه‌بندی از شبکه شش‌وجهی^۱ استفاده شد. در ناحیه اتصال دو عضو از شبکه ریزتر استفاده شد. به طوری که تعداد شبکه‌ها در ناحیه اتصال ده برابر افزایش یافت. مدل شبکه‌بندی شده اتصال در شکل ۲ نشان داده شده است. ضخامت خط چسب ۰/۰۱ میلی‌متر در نظر گرفته شد. شرایط مرزی و بارگذاری مانند آزمون تجربی در محیط نرم‌افزار شبیه‌سازی شد.

نتایج و بحث

مقادیر تنش در گوشه داخلی و بیرونی و انحراف معیار آزمون اتصال L شکل زیر بار کشش قطری در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تنش در گوشه بیرونی اتصال نسبت به گوشه داخلی بیشتر بوده است. بیشترین تنش مرکب در اتصال‌های ساخته شده با اتصال نبشی از جنس صنوبر با شیار ۱۰ میلی‌متر به میزان ۳۰/۳۰ مگاپاسکال در گوشه بیرونی اتصال و کمترین تنش مرکب در گوشه داخلی اتصال بدون نبشی (شاهد) به میزان ۶/۰۶ مگاپاسکال بوده است.

نتایج مربوط به تجزیه واریانس آزمون ظرفیت تحمل تنش مرکب اتصال‌های تقویت شده با نبشی در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. مطابق این جدول‌ها که با پیش شرط برابری واریانس‌ها انتخاب شده است، مشاهده می‌شود که P-value در قسمت بین گروهی در تنش مرکب بیرونی و داخلی اتصال کوچک‌تر از ۰/۰۵ است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد بین متغیرهای بررسی شده وجود دارد.

در مجموع شش تیمار و برای هر تیمار پنج تکرار در نظر گرفته شد. برای محاسبه تنش مرکب در گوشه‌ای داخلی و بیرونی اتصال از رابطه‌های زیر استفاده شد [۱۷]:

تنش در گوشه بیرونی و داخلی اتصال در حالت بارگذاری کشش قطری

$$\sigma_b = \pm \frac{M}{S} \quad (1)$$

$$S = \frac{1}{6}tb^2 \quad (2)$$

$$M = \frac{P}{2}L \quad (3)$$

$$\sigma_a = \frac{-P_a}{2A} = \frac{-P \cos 45}{2bt} \quad (4)$$

$$\sigma_b = \pm \frac{PL(6)}{2} = \pm \frac{3PL}{tb^2} \quad (5)$$

$$\text{تنش در گوشه بیرونی اتصال} = -(\sigma_b + \sigma_a) = -\left[\frac{3PL}{tb^2} + \frac{P \cos 45}{2bt}\right] \quad (6)$$

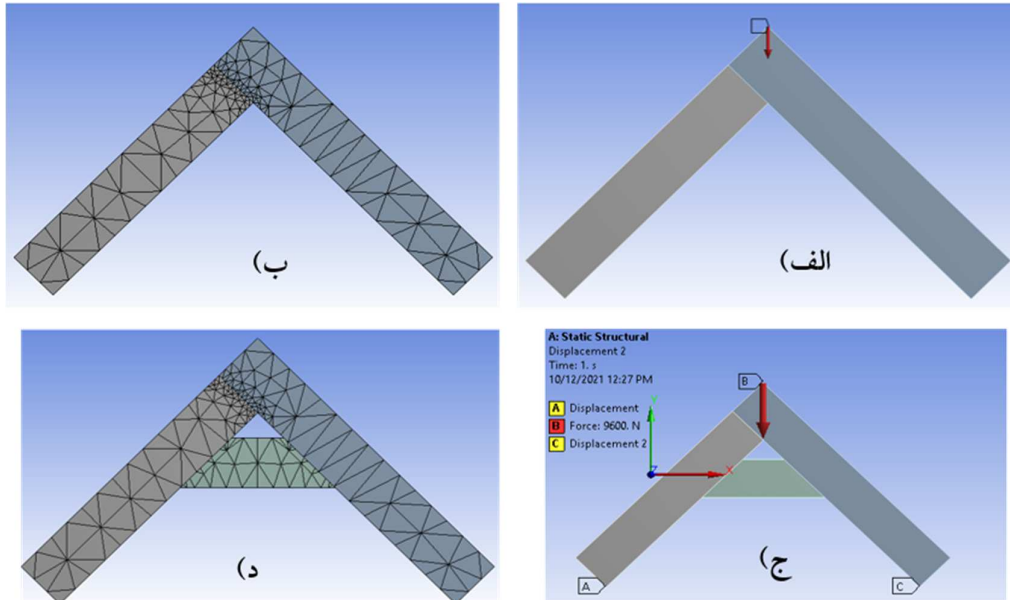
$$\text{تنش در گوشه داخلی اتصال} = \sigma_b - \sigma_a = \frac{3PL}{tb^2} - \frac{P \cos 45}{2bt} \quad (7)$$

تنش خمشی (MPa)، σ_a = تنش محوری (MPa)، M = لنگر خمشی (N.mm)، S = مدول سطح مقطع عضو اتصال (mm^3)، P = نیرو (N)، L = بازوی اتصال (mm)، t = ضخامت عضو اتصال (mm)، b = عرض عضو اتصال (mm)، A = سطح مقطع عضو اتصال (mm^2).

برای بررسی آماری از نرم‌افزار SPSS و روش تجزیه واریانس یکطرفه و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد.

مدل‌سازی با نرم‌افزار ANSYS Workbench 19.1

برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار ANSYS Workbench 19.1 استفاده شد. برای شبیه‌سازی اتصال، ابتدا شکل هندسی آن در محیط مدولار نرم‌افزار طراحی شد (شکل ۲) و در بخش مربوط به اطلاعات مهندسی مواد، خواص ماده برای تحلیل در نرم‌افزار وارد شد (جدول ۱). سپس شبکه‌بندی



شکل ۲. الف) شکل هندسی در محیط مدولار نرم‌افزار؛ ب) شبکه‌بندی اعضای اتصال؛ ج) اعمال شرایط مرزی و بارگذاری؛ د) شبکه‌بندی اتصال با نبشی.

جدول ۱. خواص ارتوتروپیک و ایزوتروپیک مواد به‌کاررفته برای اطلاعات ورودی نرم‌افزار Ansys [۱۸، ۱۹]

V _{TL}	V _{RL}	V _{TR}	V _{RT}	V _{LT}	V _{LR}	G (MPa)			E _T	E (MPa)		پارامترها
						G _{RT}	G _{LT}	G _{LR}		E _R	E _L	
-۰/۰۳۸	-۰/۰۷۸	۰/۳۷۳	-۰/۵۲۶	-۰/۷۰۵	۰/۵۰۲	۱۹۵	۵۹۵	۸۹۹	۷۷۴	۱۸۵۸	۱۲۲۰۵	گونه راش
												پارامتر
			۷									چسب (PVA)
			-۰/۳				۱۴۸			۴۰۰		

جدول ۲. مقادیر میانگین و انحراف معیار تنش در گوشه بیرونی و داخلی اتصال زیر بار کشش قطری

میانگین تنش در گوشه داخلی (مگاپاسکال)	میانگین تنش در گوشه بیرونی (مگاپاسکال)	تعداد اتصال	نوع اتصال
۶/۰۶ (۰/۳۹)*	-۶/۴۱ (۰/۴)	۵	اتصال بدون نبشی
۲۰/۳۸ (۲/۵)	-۲۱/۵۶ (۲/۷)	۵	اتصال با نبشی راش بدون شیار
۱۹/۸۸ (۲/۵)	-۲۱/۰۳ (۲/۷)	۵	اتصال با نبشی صنوبر بدون شیار
۲۵/۳۳ (۲/۲)	-۲۶/۷۹ (۲/۶)	۵	اتصال با نبشی راش با شیار ۵ میلی‌متر
۲۶/۵۳ (۲/۲)	-۲۸/۰۶ (۲/۳)	۵	اتصال با نبشی راش با شیار ۱۰ میلی‌متر
۲۸/۶۵ (۱/۷)	-۳۰/۳۰ (۱/۸)	۵	اتصال با نبشی صنوبر با شیار ۱۰ میلی‌متر

* اعداد داخل پرانتز انحراف معیار را نشان می‌دهد.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس تنش مرکب بیرونی اتصال گوشه‌ای L شکل تقویت‌شده با نبشی

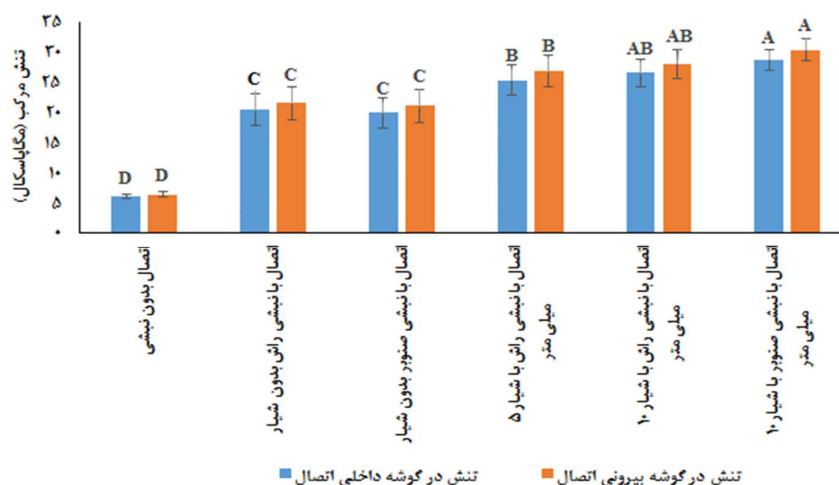
Sig	F	مربعات میانگین	درجه آزادی	مربعات مجموع	منابع تغییر
۰/۰۰۰	۷۱/۰۲۸	۳۷۲/۱۸۷	۵	۱۸۶۰/۹۳۷	بین گروهی
		۵/۲۴۰	۲۴	۱۲۵/۷۶۱	درون گروهی
			۲۹	۱۹۸۶/۶۹۷	کل

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس تنش مرکب داخلی اتصال گوشه‌ای L شکل تقویت شده با نبشی

منابع تغییر	مربعات مجموع	درجه آزادی	مربعات میانگین	F	Sig
بین گروهی	۱۶۶۳/۵۰۳	۵	۳۳۲/۷۰۱	۷۱/۰۶۸	۰/۰۰۰
درون گروهی	۱۱۲/۳۵۴	۲۴	۴/۶۸۱		
کل	۱۷۷۵/۸۵۷	۲۹			

نامحسوس بوده است. این میزان افزایش در حدود ۴ درصد است. همچنین مشاهده می شود که اختلاف معنی داری بین نبشی صنوبر و راش با شیار ۱۰ میلی متر وجود ندارد. افزایش ظرفیت تحمل تنش مرکب در اتصال های تقویت شده با نبشی صنوبر با شیار ۱۰ میلی متری نسبت به اتصال هایی که با نبشی راش با شیار ۱۰ میلی متر تقویت شده بودند، ۷ درصد بوده است. افزایش ظرفیت تحمل تنش در اتصال های ساخته شده با نبشی را می توان به سطح تماس بیشتر نبشی با اعضای اتصال مربوط دانست. افزایش سطح تماس اتصال دهنده و اعضای اتصال سبب افزایش مقاومت اتصال می شود [۲۱]، [۲۰]. به طور کلی می توان گفت در ظرفیت تحمل تنش اتصال های تقویت شده با نبشی شیار ۱۰ میلی متری عامل تعیین کننده مقاومت اتصال، جنس گونه اعضای اتصال است. به عبارت دیگر با استفاده از گونه با مقاومت مکانیکی زیاد در اعضای اتصال، می توان ظرفیت تحمل تنش اتصال تقویت شده با نبشی شیاردار را افزایش داد.

تأثیر متغیرهای بررسی شده در شکل ۳ نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود استفاده از نبشی موجب افزایش ظرفیت تحمل تنش مرکب در اتصال شده است. مطابق گروه بندی دانکن اتصال بدون نبشی (شاهد) در زیرگروه D که ضعیف ترین اتصال نسبت به اتصال های دیگر است قرار گرفته و اتصال های با نبشی صنوبر با شیار ۱۰ میلی متر در زیرگروه A جای گرفته که دارای بیشترین ظرفیت تحمل تنش مرکب است. استفاده از نبشی راش و صنوبر بدون شیار به ترتیب موجب افزایش ۳/۲۸ و ۳/۳۶ برابری ظرفیت تحمل تنش مرکب نسبت به اتصال شاهد شده است. این میزان افزایش در حالت استفاده از شیار محسوس تر بود. به طوری که اتصال با شیار ۵ و ۱۰ میلی متر راش و ۱۰ میلی متر صنوبر به ترتیب افزایش ۴/۱۸، ۴/۳۸ و ۴/۷۳ برابری ظرفیت تحمل تنش مرکب نسبت به اتصال شاهد را در پی داشت. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود، با افزایش عمق شیار در نبشی راش، میزان تحمل تنش مرکب



شکل ۳. تأثیر تأثیر جنس و حالت فیزیکی نبشی چوبی بر ظرفیت تحمل تنش اتصال گوشه‌ای L شکل زیر بار کشش قطری (حروف روی نمودار گروه بندی دانکن را نشان می دهند).

توزیع تنش - کرنش در اتصال با روش اجزای محدود

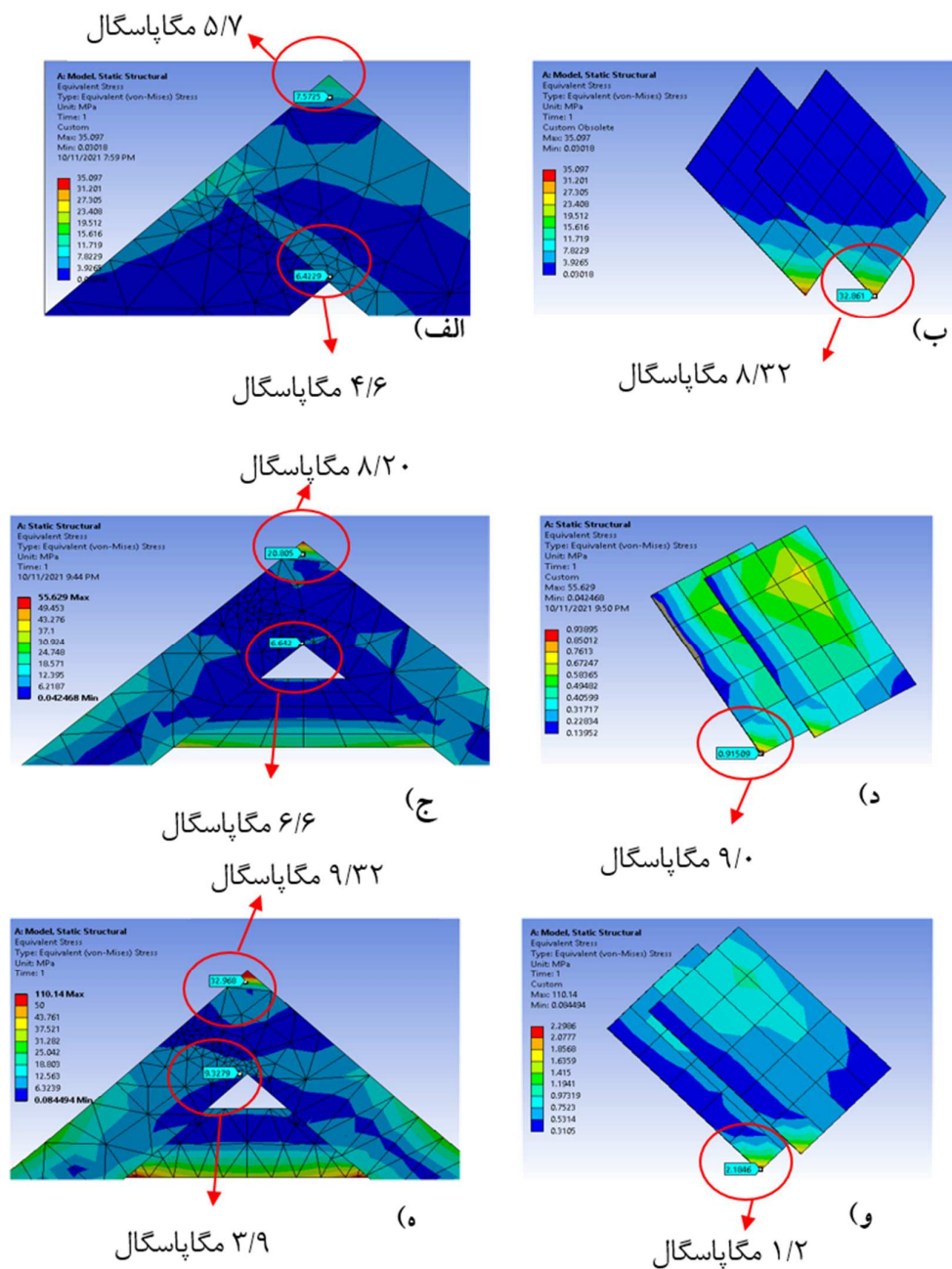
مدل سازی هر یک از آزمون‌ها با توجه به مقادیر میانگین بار به دست آمده از آزمون تجربی با نرم افزار Ansys Workbench انجام گرفت و نحوه توزیع تنش این اتصال ها بررسی شد. شکل ۴ الف توزیع تنش در اتصال شاهد را نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می شود اعضای اتصال از محل اتصال در ناحیه تحت تنش کششی از هم جدا شده اند. حد بیشینه تنش در خط چسب به میزان $32/8$ مگاپاسکال رخ داده است (شکل ۴ ب). این تنش در قسمتی از خط چسب رخ داد که در ناحیه تحت تنش کششی قرار گرفته است. تمرکز تنش در اعضای اتصال در گوشه داخلی و بیرونی نیز نمایان است. همان طور که ملاحظه می شود میانگین تنش در ناحیه گوشه داخلی و بیرونی به ترتیب $6/4$ و $7/5$ مگاپاسکال بوده است. در اتصال های تقویت شده با نبشی، توزیع تنش و کرنش متفاوت بود که سبب شد اتصال های تقویت شده با نبشی ظرفیت تحمل تنش بیشتری داشته باشند. حد بیشینه تنش در اتصال تقویت شده با نبشی بدون شیار در محل اتصال نبشی با اعضای اتصال رخ داد. میانگین تنش در ناحیه داخلی و بیرونی اتصال تقویت شده با نبشی به ترتیب $6/6$ و $20/8$ مگاپاسکال بوده است (شکل ۴ ج). مطابق تحلیل صورت گرفته مشاهده می شود که اختلاف معنی داری بین تنش در ناحیه گوشه بیرونی اتصال شبیه سازی شده با نرم افزار و نتایج حاصل از فرمول تنش در گوشه بیرونی اتصال وجود دارد. علت این موضوع را می توان تأثیر نبشی در توزیع تنش و کرنش دانست. به عبارت دیگر نبشی سبب شده که تنش در ناحیه داخلی اتصال که علت اصلی شکست در آزمون های شاهد (بدون نبشی) بوده است با تنش در گوشه بیرونی هم روند نباشد. در این اتصال تمرکز تنش بیشتر در گوشه ای بیرونی اتصال که ناحیه بحرانی اتصال نیست رخ داد که این موضوع موجب افزایش مقاومت در اتصال های تقویت شده

با نبشی شد. همچنین نبشی سبب شد که تنش در خط چسب اتصال در محل کام و زبانه نسبت به اتصال بدون نبشی به طور محسوسی کاهش یابد. همان طور که در شکل ۴ د نشان داده شده است، میزان تنش در خط چسب اتصال با نبشی کمتر از 1 مگاپاسکال بوده است. در اتصال تقویت شده با نبشی شیاردار میانگین تنش بیرونی $32/9$ مگاپاسکال و میانگین تنش در ناحیه داخلی اتصال $9/3$ مگاپاسکال بود. همان طور که در شکل ملاحظه می شود، ظرفیت تحمل تنش در اتصال تقویت شده با نبشی شیاردار نسبت به اتصال تقویت شده با نبشی بدون شیار بیشتر بوده است (شکل ۴ ج، ۴ و). در شکل ۵ توزیع تنش در نبشی شیاردار و بدون شیار نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود حد بیشینه تنش در قسمت زیرین هر دو نبشی رخ داده است. بیشینه تنش در نبشی بدون شیار در حدود 42 مگاپاسکال بوده، در حالی که تنش در نبشی شیاردار به $61/5$ مگاپاسکال رسیده است.

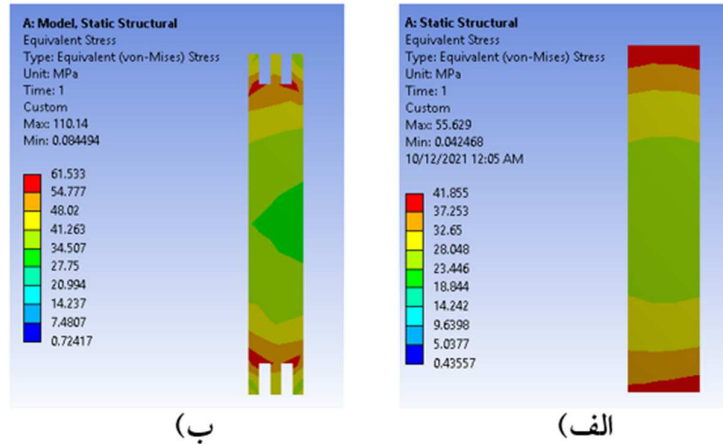
با توجه به مدل شبیه سازی شده مشاهده می شود که تقویت اتصال با نبشی سبب افزایش ظرفیت تحمل تنش اتصال شده است. این مقدار افزایش در گوشه بیرونی اتصال به طور محسوسی نمایان تر است. همان طور که در شکل های حاصل از خروجی نرم افزار ملاحظه می شود گوشه بیرونی اتصال در هر سه حالت بدون نبشی، با نبشی ساده و با نبشی شیاردار دارای تنش بیشتری نسبت به گوشه داخلی بوده است. به طوری که تنش بیشینه در گوشه بیرونی اتصال شاهد، اتصال تقویت شده با نبشی بدون شیار و اتصال با نبشی شیاردار به ترتیب 35 ، 55 و 110 مگاپاسکال بوده است. این در حالی است که در گوشه داخلی تفاوتی بین تنش در هر سه حالت اتصال مشاهده نشد. تنش بیشینه در گوشه داخلی اتصال بدون نبشی، اتصال تقویت شده با نبشی بدون شیار و اتصال با نبشی شیاردار به ترتیب $6/6$ ، $6/4$ و $9/3$ مگاپاسکال بوده است. به عبارتی می توان گفت که ناحیه بحرانی در اتصال گوشه ای L شکل ناحیه ای است

بحرانی برسد. این موضوع موجب افزایش ظرفیت تحمل تنش اتصال می‌شود.

که تحت تنش کششی قرار می‌گیرد و نبشی سبب می‌شود که تمرکز تنش در ناحیه تحت تنش کششی با تأخیر به حد



شکل ۴. توزیع تنش در اتصال گوشه‌ای L شکل: (الف) اتصال بدون نبشی؛ (ب) خط چسب اتصال بدون نبشی؛ (ج) اتصال با نبشی بدون شیار؛ (د) خط چسب اتصال با نبشی شیاردار؛ (ه) اتصال با نبشی شیاردار؛ (و) خط چسب اتصال با نبشی شیاردار

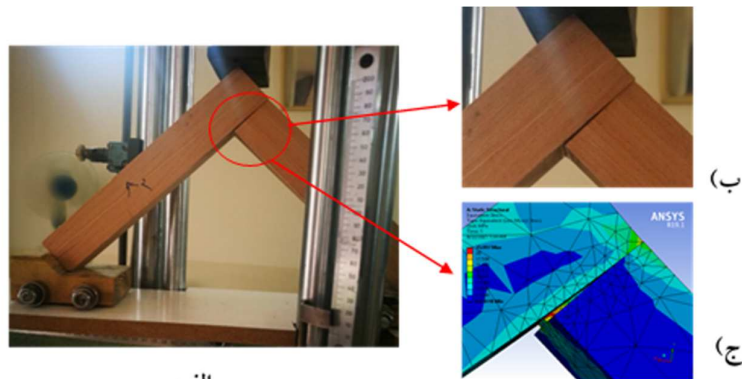


شکل ۵. توزیع تنش در نبشی اتصال گوشه‌ای L شکل: (الف) نبشی بدون شیار؛ (ب) نبشی شیاردار.

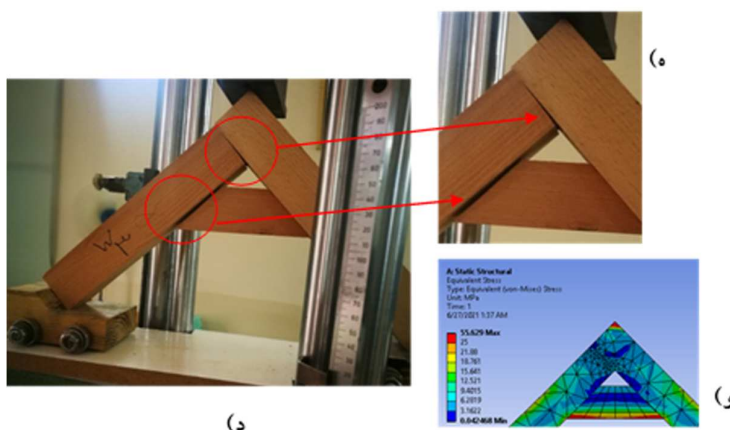
مد شکست

رخ داد و پس از آن بازشدگی در محل اتصال اعضای اتصال (کام و زبانه) مشاهده شد (شکل ۶ د). در مدل شبیه‌سازی شده این اتصال بیشینه تنش در محل اتصال نبشی با اعضای اتصال مشاهده شد (شکل ۶ ه، و). در اتصال تقویت‌شده با نبشی شیاردار، اتصال مقاومت بیشتری در برابر شکست از خود نشان داد. با توجه به سطح تماس بیشتر بین نبشی شیاردار و اعضای اتصال نسبت به سطح تماس اتصال با نبشی ساده، ظرفیت تحمل تنش اتصال بیشتر بود. مد شکست در این نوع اتصال به این صورت است که شکست در ناحیه دارای بیشینه تنش یعنی ناحیه درگیری شیار نبشی با شیار ایجاد شده در ضخامت اعضای اتصال رخ داد. در این مد شکست شیار ایجاد شده در اعضای اتصال در راستای موازی با الیاف و به صورت تراشه‌وار از اعضای اتصال جدا شد (شکل ۶ ح). در خروجی نرم‌افزار نیز بیشینه تنش در قسمت زیرین نبشی و در انتهای شیار نبشی مشاهده شد (شکل ۶ ط). با توجه به مدهای شکست و همچنین مقادیر تنش مرکب به دست آمده از فرمول همخوانی خوبی بین نتایج تجربی و تحلیل عددی مشاهده شد. در پژوهش‌های پیشین نیز این همخوانی حاصل شده است [۱۴-۱۶].

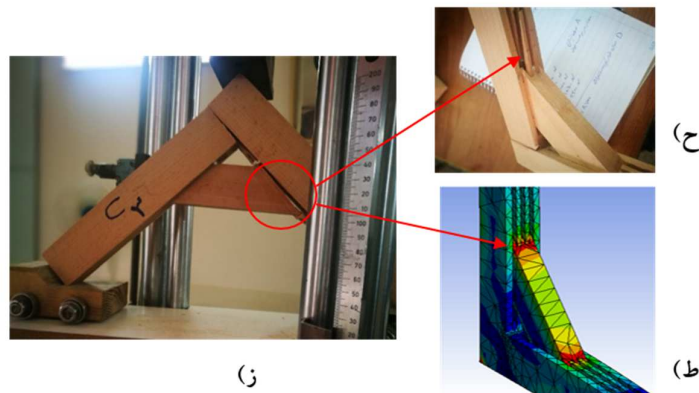
همان‌طور که ملاحظه شد در تحلیل عددی و تجربی آزمون اتصال گوشه‌ای L شکل زیر بار کششی، نبشی در هر دو حالت بدون شیار و شیاردار با عمق شیار متفاوت موجب افزایش مقاومت این اتصال شد. با مشاهدات مربوط به مد شکست مشخص شد که اتصال گوشه‌ای L شکل تقویت‌شده با نبشی بدون شیار و با شیار دارای عمق ۵ و ۱۰ میلی‌متر عملکرد متفاوتی از خود نشان می‌دهد. در شکل ۶ الف مد شکست در اتصال بدون نبشی نشان داده شده است. براساس این مد شکست، مشاهده می‌شود که شکست به صورت بازشدگی اتصال در گوشه داخلی رخ داده است (شکل ۶ ب). این ناحیه از اتصال تحت تنش کششی قرار داشته است. همان‌طور که در تحلیل توزیع تنش در اتصال بدون نبشی با نرم‌افزار نیز نشان داده شد، بیشینه تنش در این ناحیه از اتصال و در خط چسب رخ داد و بازشدگی اتصال در این قسمت با نرم‌افزار به خوبی به تصویر کشیده شده است (شکل ۶ ج). مد شکست در اتصال‌های تقویت‌شده با نبشی متفاوت بود. به طوری که در اتصال‌های با نبشی ساده (بدون شیار) ابتدا به صورت جدا شدن نبشی در محل اتصال نبشی با اعضای اتصال



الف



د



ز

شکل ۶. مد شکست در اتصال گوشه‌ای L شکل: الف) اتصال بدون نبشی؛ ب) باز شدگی اتصال بدون نبشی؛ ج) توزیع تنش در اتصال بدون نبشی؛ د) اتصال تقویت‌شده با نبشی بدون شیار؛ ه) مد شکست در اتصال با نبشی بدون شیار؛ و) توزیع تنش در اتصال با نبشی بدون شیار؛ ز) اتصال تقویت‌شده با نبشی شیاردار؛ ح) مد شکست در اتصال با نبشی شیاردار؛ ط) توزیع تنش در اتصال با نبشی شیاردار.

نتیجه‌گیری

اتصال L شکل در حالتی که تحت بارگذاری کشش قطری قرار می‌گیرد متأثر از نبشی تقویت‌کننده است. نبشی تقویت‌کننده در هر سه حالت تحت بررسی (بدون شیار و با شیار ۰/۵ و ۱ سانتی‌متر) موجب افزایش ظرفیت تحمل

این پژوهش با هدف بررسی عددی و تجربی اتصال گوشه‌ای L شکل تقویت‌شده با نبشی زیر بار کشش قطری انجام گرفت. برپایه نتایج این پژوهش، ظرفیت تحمل تنش

که نرم‌افزار توانایی بسیار زیادی در شناسایی نقاط حساس تحت تنش بیشینه دارد. بنابراین استفاده از تحلیل عددی در صنایع تولید مبلمان به‌ویژه طراحی مهندسی این سازه، افزون‌بر کاهش هزینه مواد و زمان آزمایش، موجب کسب اطلاعات بیشتر در مورد ماهیت اتصال‌ها و عملکرد آنها در برابر بارهای واردشده در سرویس می‌شود.

تقدیر و تشکر

این پژوهش با حمایت مالی و معنوی معاونت پژوهش و فناوری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شده است (شماره گرنت ۲۹۹۷۱/۶/۱۵). ساخت نمونه‌ها در شرکت صنعتی داد با مدیریت جناب آقای علی حاجی باقری انجام شده است. آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی در آزمایشگاه فیزیک و مکانیک چوب و فرآورده‌های چوبی گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شده است.

تنش اتصال شد. جنس نبشی تأثیر معنی‌داری بر ظرفیت تحمل تنش اتصال نداشت. این امر می‌تواند دستاورد خوبی از یافته‌های این پژوهش باشد، زیرا این تصور را که نبشی حتماً باید از جنس گونه مقاوم باشد رد می‌کند. با توجه به یافته‌های این پژوهش دیده شد که نبشی از جنس صنوبر که مقاومت‌های مکانیکی کمتری از گونه راش دارد، عملکردی در حد نبشی راش در افزایش ظرفیت تحمل تنش اتصال داشت. بنابراین با توجه به قیمت کمتر گونه صنوبر نسبت به گونه راش، می‌توان از نبشی آن برای تقویت اتصال‌های L شکل گوشه‌ای استفاده کرد. این امر موجب کاهش هزینه‌های تولید خواهد شد. عمق شیار سبب افزایش نامحسوس ظرفیت تحمل تنش اتصال شد. از این‌رو برای صرفه‌جویی در هزینه‌های تولید و همچنین مصرف چسب، عمق شیار کمتر برای تقویت اتصال با نبشی پیشنهاد می‌شود. یافته‌های مربوط به تحلیل عددی همخوانی خوبی با مشاهدات تجربی داشتند. مطابق این تحلیل‌ها دیده شد

References

- [1]. Liu, W. Q., and Eckelman, C.A. (1998). Effect of number of fasteners on the strength of corner joints for cases. *Forest Products Journal*, 48(1):93-95.
- [2]. Eckelman, C.A. (1971) Bending strength and moment rotation characteristics of two-pin moment resisting dowel joints. *Forest Products Journal*, 21(3):35-39.
- [3]. Feio, A.O., Lourenço, P.B., and Machado, J.S. (2014) Testing and modeling of a traditional timber mortise and tenon joint. *Materials and Structures*, 47:213-225.
- [4]. Smardzewski, J. (2002). Strength of profile-adhesive joints, *Wood Science and Technology*, 36(2): 173-183.
- [5]. Dzincic, I., and Skakic, D. (2012). Influence of type of fit on strength and deformation of oval tenon-mortise joint. *Wood Research*, 57(3): 469-477.
- [6]. Dzincic, I., and Zivanic, D. (2014). The influence of fit on the distribution of glue in oval tenon mortise joint. *Wood Research*, 59(2), 297-302.
- [7]. Kasal, A., Smardzewski, J., Kuşkun, T. and Erdil, Y.Z. (2016). Numerical analyses of various sizes of mortise and tenon furniture joints. *BioResources*, 11(3): 6836-6853.
- [8]. Tankut, A.N., and Tankut, N. (2005). The effects of joint forms (shape) and dimensions on the strengths of mortise and tenon joints. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29(6): 493-498.
- [9]. Likos, E., Haviarova, E., Eckelman, C.A., Erdil, Y. Z., and Özçifci, A. (2012). Effect of tenon geometry, grain orientation, and shoulder on bending moment capacity and moment rotation characteristics of mortise and tenon joints. *Wood and Fiber Science*, 44(4): 462-469.
- [10]. Derikvand, M., and Ebrahimi, G. (2014). Strength performance of mortise and loose-tenon furniture joints under uniaxial bending moment. *Journal of Forestry Research*, 25(2): 483-486.

- [11]. Koç, K.H., Kizilkaya, K., Erdinler, E.S., and Korkut, D.S. (2011). The use of finite element method in the furniture industry. *African Journal of Business Management*, 5(3): 855-865.
- [12]. Kasal, A. (2006). Determination of the strength of various sofa frames with finite element analysis. *Gazi University Journal of Science*, 19(4): 191-203.
- [13]. Smardzewski, J., and Prekrat, S. (2009). Optimisation of a sofa frame in the integrated cad-cae environment. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 12(4): 1.
- [14]. Horman, I., Hajdarević, S., Martinović, S., and Vukas, N. (2010). Numerical analysis of stress and strain in a wooden chair. *Drvna Industrija*, 61(3): 151-158.
- [15]. Hajdarević, S., and Martinović, S. (2014). Effect of tenon length on flexibility of mortise and tenon joint. *Procedia Engineering*, 69(2014): 678-685.
- [16]. Krzyżaniak, Ł., and Smardzewski, J. (2021). Impact damage response of L-type corner joints connected with new innovative furniture fasteners in wood-based composites panels. *Composite Structures*, 255: 113008.
- [17]. Dalvand, M., Ebrahimi, G., Haftkhani, A.R., and Maleki, S. (2013). Analysis of factors affecting diagonal tension and compression capacity of corner joints in furniture frames fabricated with dovetail key. *Journal of Forestry Research*, 24(1): 155-168.
- [18]. Hu, W.G., Guan, H.Y. (2017a). Study on elastic constants of beech in different stress states. *Journal of Forestry Engineering*, 2(6): 31-36.
- [19]. Smardzewski, J., and Papuga, T. (2004). Stress distribution in angle joints of skeleton furniture. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 7(1).
- [20]. Dalvand, M., Ebrahimi, G., Tajvidi, M., and Layeghi, M. (2014). Bending moment resistance of dowel corner joints in case-type furniture under diagonal compression load. *Journal of Forestry Research*, 25(4): 981-984.
- [21]. Maleki, S., Haftkhani, A.R., Dalvand, M., Faezipour, M., and Tajvidi, M. (2012). Bending moment resistance of corner joints constructed with spline under diagonal tension and compression. *Journal of Forestry Research*, 23(3): 481-490.

Numerical and experimental investigation of stress carrying capacity of reinforced L-shaped corner joints with corner block in wooden chair under diagonal tension

S.M.J. Mousavi Hoseyni; Ph.D. student., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

H. Zarea Hosseinabadi; Assoc., Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

M. Dalvand*; Ph.D., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

P. Moradpour; Assist., Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

(Received: 30 October 2021, Accepted: 02 January 2022)

ABSTRACT

Joints are important components of any structure that can be a warranty for the strength of structures. There are different methods for reinforcement of furniture joints that are used according to position and shape of joint. One of the reinforcement methods of corner joints is using wooden corner blocks. Therefore, in this study, the effect of species types and physical situation of wooden corner block on stress carrying capacity of L-shape joint under diagonal tension was investigated numerically and experimentally. For this purpose, L-shape mortise and tenon joints of beech were constructed. The corner blocks of beech and poplar species were applied to reinforce the joints. The physical situation for beech in three levels (without groove and with grooves 5, and 10 mm) were selected as variables. Also, a control sample (without corner block) was used for comparing. Experimental results have shown that using corner block had a significant effect on stress carrying capacity. There was no significant difference between the species. The maximum stress carrying capacity was obtained of joints that were reinforced with poplar corner block with 10 mm groove depth (30.3 MPa) and the minimum stress carrying capacity was obtained of control sample (6.06 Mpa). Results of numerical analysis have shown that maximum stress of reinforced joints with corner block are in the groove zone of joint members and corner block glue line which this stress concentration caused the failure of members in these zones.

Keywords: Corner joints, Experimental investigation, Numerical analysis, Stress carrying capacity, Mortise and tenon, Corner block.

* Corresponding Author, Email: M.dalvand@ut.ac.ir, Tel: +982632249311