

مدل‌سازی عددی عملکرد اتصال دهنده پیچ زیر بار برشی در ال‌وی‌ال

مسیب دالوند^{۱*} کامبیز پورطهماسی^۲، قنبر ابراهیمی^۲

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

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۳

چکیده

اتصال‌ها از مهم‌ترین قسمت‌ها در طراحی مهندسی سازه‌اند، زیرا مبنای شکست‌های سازه‌ای هستند. بنابراین تولیدکنندگان علاقه دارند که از کفایت استحکام اتصال‌های موعود در سازه اطمینان یابند. تحلیل عددی روشی برای مطمئن شدن از برآورد استحکام اتصال است. در این پژوهش، مدل‌سازی عناصر محدود برای ارزیابی عملکرد اتصال‌های ساخته‌شده با پیچ و اعضای ال‌وی‌ال زیر بار برش موازی و عمود بر لبه عضو اصلی به‌کار گرفته شد. اتصال آزمونی با پیچ دارای قطر ۴/۲، ۵ و ۶ میلی‌متر ساخته شد. از نرم‌افزار ANSYS برای شبیه‌سازی اتصال‌ها به‌منظور ارزیابی مقادیر تنش ناشی از اعمال بار استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشترین تنش در سوراخ پیش‌ساخته عضو اصلی اتصال و در میانه محور پیچ اتفاق افتاد. این مقدار تنش بیشترین نرخ اتفاق را وقتی داشت که بار به موازات لبه عضو اصلی اتصال وارد شده بود. مد شکست در اتصال‌های آزمونی در نقاط حداکثر تنش به‌شکل لهدگی تکیه‌گاهی و زنگی شکل مشاهده شد. مشاهدات نشان دادند که اتصال‌ها زیر بار عمود بر لبه به نسبت عملکرد بهتری داشتند. ظرفیت تحمل تنش اتصال زیر بار موازی با لبه عضو اصلی با افزایش قطر پیچ کاهش می‌یابد، درحالی که در بارگذاری عمود بر لبه این ظرفیت با افزایش قطر پیچ فزونی دارد. چون توافق خوبی بین مشاهدات تجربی و نتایج حل عددی مشاهده می‌شود، این روش برای تحلیل و پیش‌بینی شکست اتصال‌ها در سازه مبلمان توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ال‌وی‌ال، بار برشی، پیچ، تنش، روش اجزای محدود، مدل‌سازی عددی.

مقدمه

زمینه عوامل تأثیرگذار بر مقاومت اتصال‌های پرکاربرد در مبلمان انجام گرفته است. اسماردژفسکی (۲۰۰۲) دلیل اصلی تغییر شکل در محل اعضای اتصال سازه مبلمان را مشکلات تکنولوژیکی عنوان کرده است که در طی فرایند چسبندگی و مونتاژ رخ می‌دهند [۳]. برخی دیگر از عوامل مانند جنس اتصال، تعداد و اندازه اتصال‌دهنده، نوع چسب و شرایط فیزیکی سطح، صافی سطح و همچنین دانسیته در تغییر شکل اتصال‌ها زیر فشارهای مکانیکی تأثیرگذارند [۴-۱۰]. افزون بر متغیرهای مربوط به جنس اعضا و اتصال‌دهنده‌ها، عملکرد اتصال در برابر بار کاربردی بر اعضای اتصال را نیز می‌توان ملاکی برای ارزیابی کیفیت مبلمان دانست [۱۱]. مبلمان در

اتصالات به‌طور معمول ضعیف‌ترین بخش هر سازه مبلمان‌اند که می‌توانند عامل اصلی شکست در آن باشند [۱]. سازه مبلمان منزل و اداری با توجه به محل استفاده، نیروهای مختلفی را به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم تجربه می‌کنند که ممکن است سبب اثرهای منفی مانند بازشدگی، شکستگی یا ترک خوردگی در محل اتصال اعضای آن شود [۲]. با توجه به اهمیت اتصال در سازه مبلمان، پژوهش‌های متعددی در

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۲۶۳۲۲۴۹۳۱۱

Email: M.dalvand@ut.ac.ir

در ساخت اتصال در سازه مبلمان وجود مقطع عرضی عضوی در محل اتصال بنا بر وضعیت فیزیکی، اجتناب ناپذیر است. عملکرد ضعیف هر نوع اتصال دهنده (اعم از مکانیکی و شیمیایی) در مقطع عرضی چوب ماسیو، موضوع بارزی است، اما در مقطع عرضی عضوی از چوب چندسازه‌ای، مثل ال‌وی‌ال این مطلب شدت چوب ماسیو را ندارد، زیرا ساختار ال‌وی‌ال به علت وجود سطوح لایه‌های نازک چسب با چوب ماسیو تفاوت مشهود دارد. بنابراین مطالعه استحکام اتصال در سازه مبلمان با اعضای اتصال از ال‌وی‌ال با اتصال دهنده معمول، برای فراهم آوردن مشاهدات تجربی لازم در فاز طراحی مهندسی اسکلت مبلمان ضرورت دارد.

اتصال T شکل در سازه مبلمان کاربرد فراوانی دارد که در آن محور پیچ اتصال دهنده عمود بر مقطع عرضی عضو اصلی قرار می‌گیرد و بار برشی خالص وارد بر اتصال موازی یا عمود بر صفحه پهنای عضو اصلی است. اگر اعضای این نوع اتصال از ال‌وی‌ال باشند، بار برشی وارد بر اتصال موازی یا عمود بر صفحات لایه‌ها و چسب خواهد بود. قطر پیچ در این نوع اتصال بر حسب ضخامت عضو اصلی انتخاب می‌شود که بر ظرفیت تحمل بار برشی و سازوکار روند تمرکز تنش و شکست اتصال تأثیرگذار است. بنابراین در این پژوهش عملکرد اتصال‌های ساخته شده از اعضای ال‌وی‌ال با اتصال دهنده پیچ زیر بار برشی و مدل‌سازی آن با روش اجزای محدود بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

مدل‌سازی با نرم‌افزار ANSYS Workbench 19.1

در روش اجزای محدود مدل هندسی طراحی شده در محیط مدولار به اجزای ریزتری با نام المان تقسیم می‌شوند و تحلیل بر اساس المان‌های قرار گرفته روی مدل انجام می‌گیرد. هر المان خود از گره‌هایی تشکیل شده است. تحلیل یک مدل با روش اجزای محدود، با حل

حین سرویس در معرض بارهای متفاوتی از جمله بارهای کششی، فشاری، برشی و لنگر خمشی قرار می‌گیرد [۱۲]. اطلاع از عملکرد اتصال‌ها در برابر این بارها می‌تواند در طراحی مبلمان با رعایت اصول مهندسی، مفید واقع شود. امروزه با توسعه مدل‌های عددی امکان شبیه‌سازی عملکرد اتصال‌های مبلمان در برابر بارهای خارجی در محیط نرم‌افزار با روش اجزای محدود فراهم شده است [۱۳] و پژوهشگران زیادی با استفاده از این روش و مقایسه آن با روند تجربی به نتایج خوبی دست یافته‌اند. Demirci (۲۰۱۱) اتصال‌های گوشه‌ای ساخته شده با اتصال دهنده‌های مختلف را به صورت تجربی و عددی بررسی و نتایج آن را مطلوب ارزیابی کرده است [۱۴]. Smardzewski (۲۰۱۶)، اتصال‌های پنهان از جنس ABS را در مبلمان صفحه‌ای با روش عددی و تجربی بررسی کرد. نتایج این بررسی نشان داد که مشاهدات تجربی با یافته‌های عددی در محدوده الاستیک همخوانی خوبی داشته‌اند [۱۵]. شبیه‌سازی آزمون توان نگهداری اتصال کام و زبانه نشان داده است که طول زبانه در نتایج حاصل از روش عددی تأثیرگذار است [۱۶]. همچنین بررسی توزیع تنش - کرنش در اتصال ساخته شده با پین نشان داده است بیشترین تنش در بخش میانی پین و خط چسب رخ داده است [۱۷]. در پی حذف محدودیت ابعاد و ارتقای جایگاه مصرف چوب با کیفیت نازل، دسته فرآورده‌های مهندسی شده چوب چندسازه‌ای ساختمانی^۱ توسعه یافته‌اند. این دسته از چوب چندسازه‌ای شامل چهار نوع است که ال‌وی‌ال در بین آنها در جایگزین شدن چوب ماسیو در کاربردها رونق بیشتری پیدا کرده است [۱۸]. از موارد مهم جایگزینی چوب ماسیو توسط ال‌وی‌ال در سازه مبلمان، به‌ویژه مبلمان راحتی یا پوشش‌دار است [۱۹]. در سازه مبلمان بنا بر طبیعت کاربردی آنها، ساخت اتصال و تنوع آن فراوانی نسبی بیشتری دارد که با اتصال دهنده مکانیکی و شیمیایی (چسب) اجرا می‌شود.

در محیط مدولار نرم‌افزار طراحی شد (شکل ۱) و سپس اطلاعات مربوط به خواص ماده در نرم‌افزار وارد شد (جدول ۱). با اجرای شبکه‌بندی، مدل شبیه‌سازی شده به مدل اجزای محدود تبدیل شد. برای شبکه‌بندی از مش شش‌وجهی (Hexahedral) استفاده شد. ابعاد و اندازه مش بندی پیچ کوچک‌تر از اعضای اتصال در نظر گرفته شد. برای اتصال مدل مش بندی شده اتصال در شکل ۱ نشان داده شده است. سازوکار بارگذاری و اعمال شرایط مرزی مانند آزمون تجربی در محیط نرم‌افزار شبیه‌سازی شد. بار برش خالص اعمال شده بر اتصال‌های شبیه‌سازی شده مطابق با پژوهش‌های پیشین و همچنین آیین‌نامه معتبر NDS ۰/۹۰۴ کیلو نیوتن در نظر گرفته شد [۶، ۲۰]. نحوه اعمال شرایط مرزی و بارگذاری در شکل ۱ ارائه شده است.

همزمان تعداد معادلات بسیار زیادی صورت می‌گیرد که تعداد آنها بستگی مستقیم به تعداد گره‌ها و المان‌های قرار گرفته روی مدل دارد. به‌طور کلی در حل هر مسئله با روش اجزای محدود سه مرحله کلی انجام می‌گیرد:

۱. مدل‌سازی هندسی و سپس انتخاب نوع المان از المان‌های موجود در نرم‌افزار، تعیین خواص مواد سازنده مدل و در نهایت تبدیل مدل هندسی به مدل اجزای محدود به کمک عمل شبکه‌بندی؛

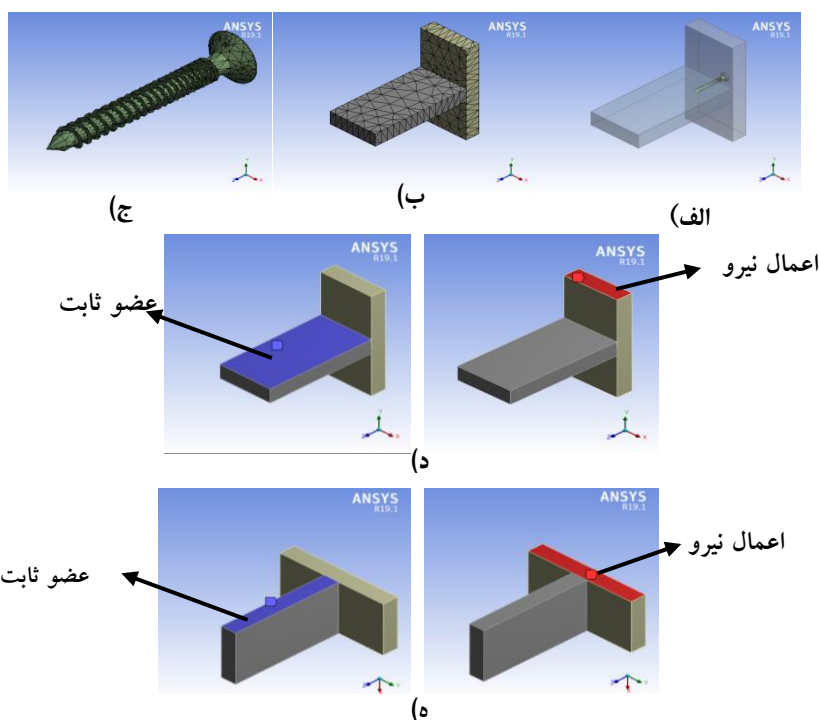
۲. تعیین نوع تحلیل، اعمال شرایط مرزی و شرایط اولیه و سپس حل مسئله؛

۳. مشاهده نتایج به‌صورت گرافیکی.

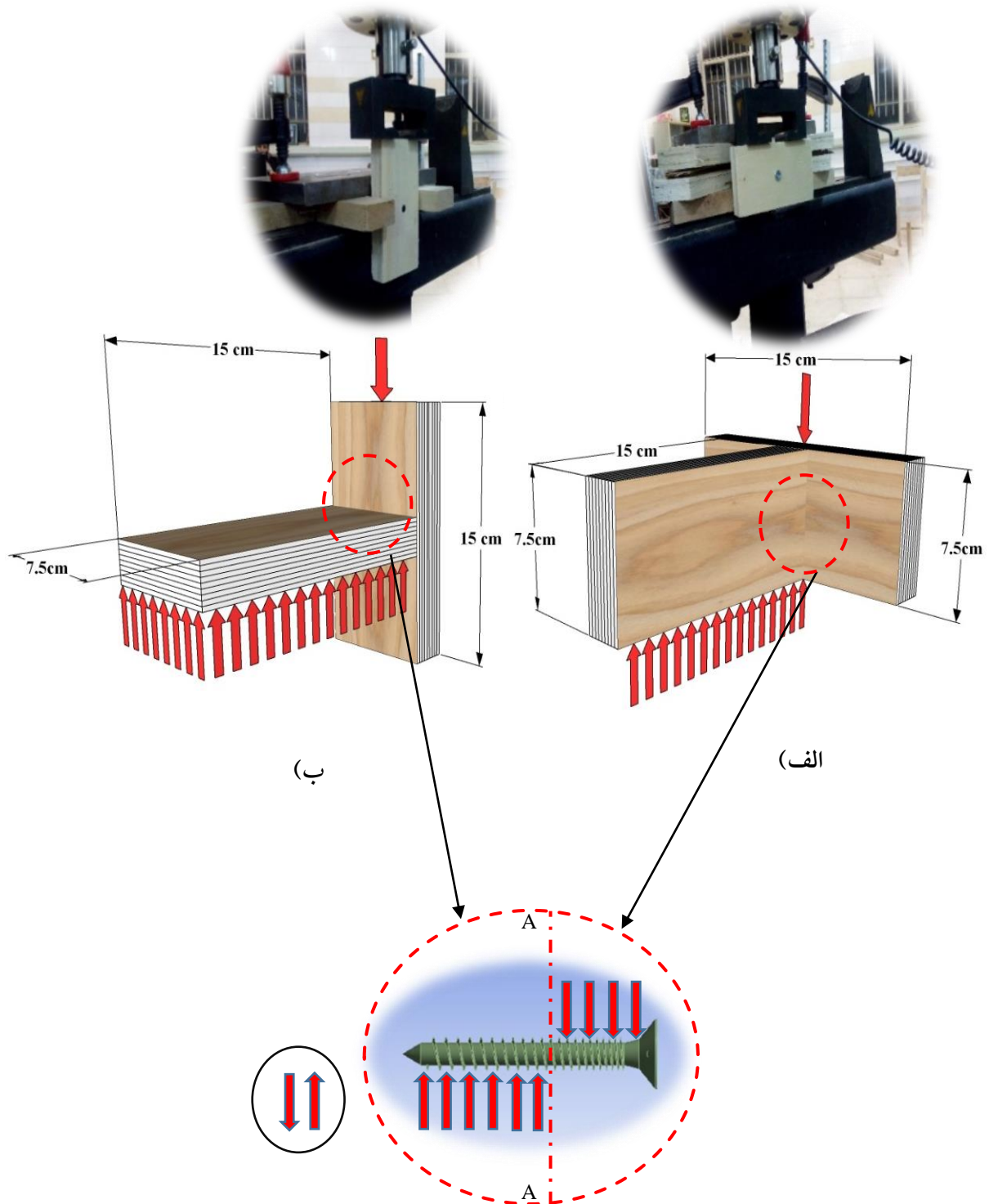
در این پژوهش برای مدل‌سازی از نرم‌افزار ANSYS Workbench 19.1 استفاده شد. ابتدا شکل هندسی اتصال

جدول ۱. خواص ارتوتروپیک و ایزوتروپیک مواد به‌کاررفته برای اطلاعات ورودی نرم‌افزار Ansys [۲۱]

| ν_{TL} | ν_{RL} | ν_{TR} | ν_{RT} | ν_{LT} | ν_{LR} | G_{RT} | G_{LT} (MPa) | G_{LR} | E_T | E_R (MPa) | E_L | پارامترها |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|-------------------|----------|-------|----------------|-------|-----------|
| ۰/۲۷ | ۰/۰۴ | ۰/۳۳ | ۰/۶۷ | ۰/۵۰ | ۰/۳۷ | ۱۳۳ | ۶۸۸ | ۷۹۹ | ۵۹۹ | ۱۱۲۱۶ | ۱۱۱۰۳ | ال‌وی‌ال |
| | | | | | | | G (MPa) | | | E (MPa) | | پارامترها |
| | | | ۷ | | | | | | | | | پیچ |
| | | | ۰/۳ | | | | ۸۰۷۶۹ | | | ۲۱۰۰۰ | | |



شکل ۱. الف) شکل هندسی در محیط مدولار نرم‌افزار، ب) مش‌بندی اعضای اتصال، ج) مش‌بندی پیچ، د) اعمال شرایط مرزی و بارگذاری در جهت موازی با لبه، ه) در جهت عمود بر لبه.



شکل ۲. حالت فیزیکی اتصال‌ها و نحوه بارگذاری، الف) بارگذاری عمود بر لبه عضو اصلی، ب) بارگذاری موازی با لبه عضو اصلی، ج) مقطع پیچ تحت تنش برشی خالص.

واریانس و برای مقایسه میانگین‌ها از روش دانکن استفاده شد. در مجموع شش تیمار و برای هر تیمار پنج تکرار در نظر گرفته شد.

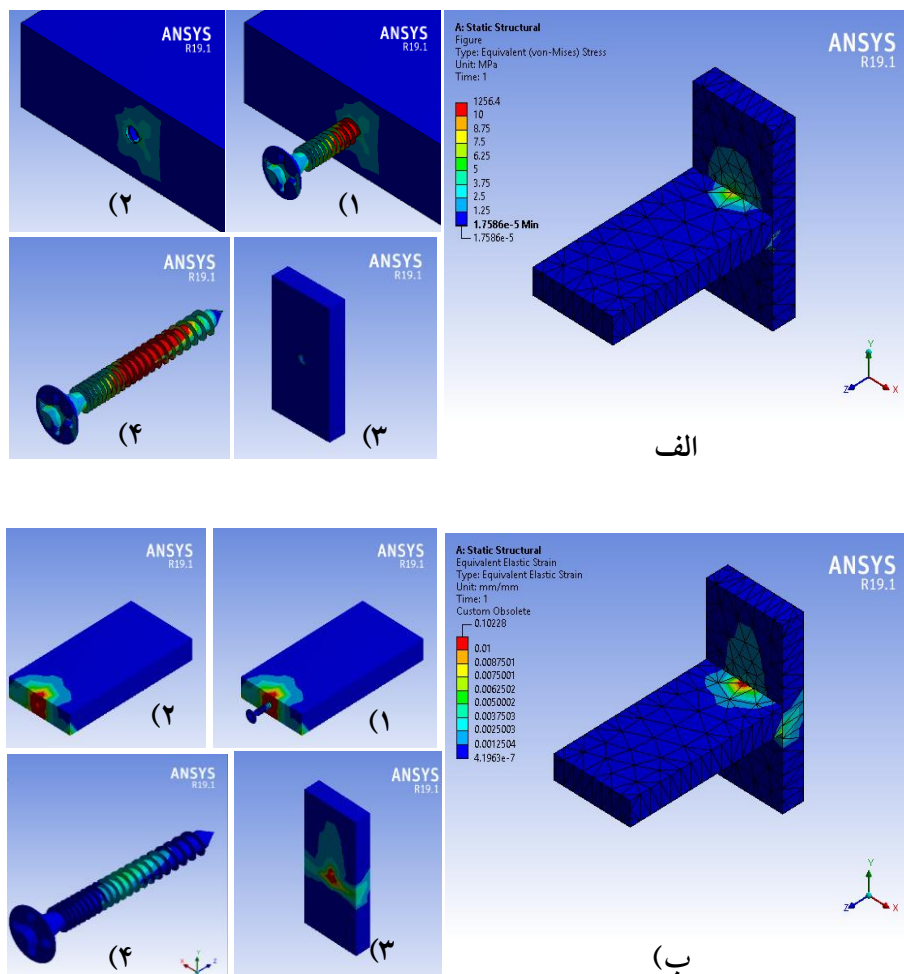
نتایج و بحث

مدل شبیه‌سازی شده اتصال

شکل ۳ الف توزیع تنش برشی خالص حداکثر در اتصال مربوط به آزمون برش اتصال‌دهنده پیچ در مقطع عرضی الوی‌ال در جهت بارگذاری موازی با لبه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده است تمرکز تنش در قسمت رویی و زیرین محل اتصال حداکثر است. تمرکز تنش در این ناحیه به صورت شکست عضو اصلی اتصال در آزمون‌های تجربی مشاهده شده است (شکل ۶). همچنین در شکل ۳، توزیع تنش برشی خالص و کرنش الاستیک در عضو اصلی و فرعی و اتصال‌دهنده پیچ نشان داده شده است. مطابق این شکل عضو اصلی که نوک پیچ در لبه آن قرار گرفته تحت تنش بیشتری قرار گرفته است. شکست در قسمت زیرین عضو اصلی در آزمون‌های تجربی رخ داده که در مدل نیز تمرکز تنش در این ناحیه به خوبی نشان داده شده است. همچنین توزیع تنش برشی خالص در اتصال‌دهنده پیچ نشان می‌دهد که حداکثر تنش به وجود آمده در پیچ در قسمت میانی پیچ بوده است. شکل ۳ ب توزیع کرنش الاستیک در اتصال را نشان می‌دهد. همچنین می‌توان آن را به مقاومت بیشتر اتصال‌دهنده پیچ در برابر تغییر شکل با توجه به حد تسلیم زیاد آن نسبت به اعضای اتصال ربط داد.

ساخت آزمون‌های تجربی و شرایط بارگذاری

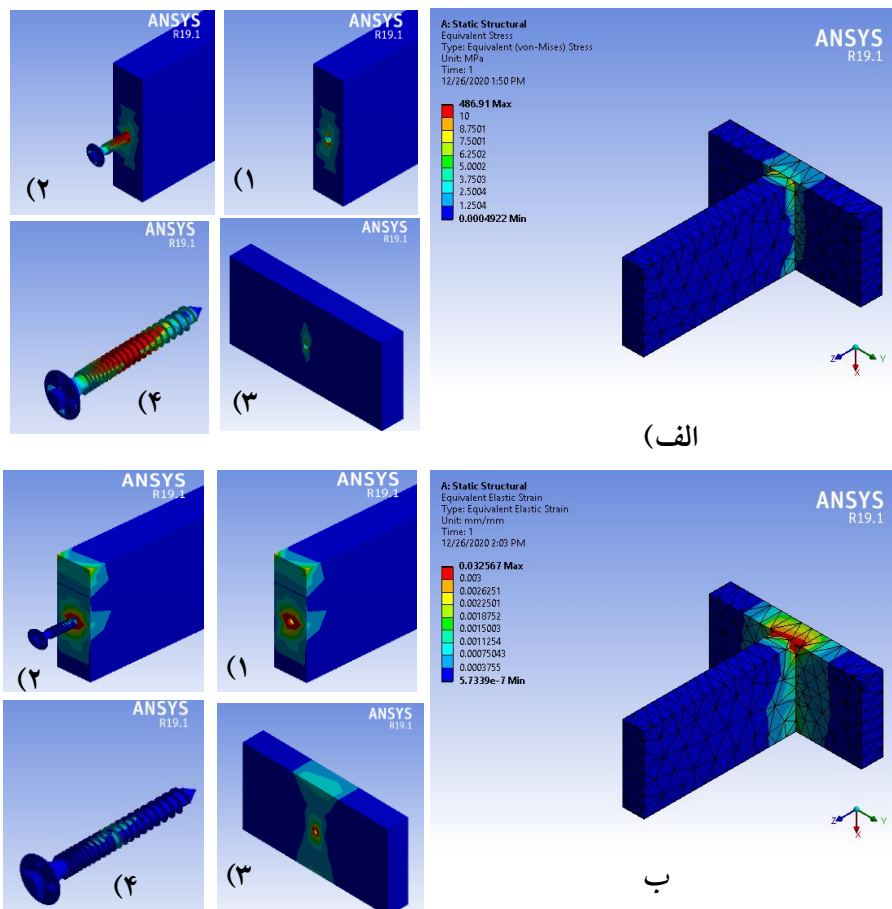
در این پژوهش ابتدا لایه‌ها با استفاده از دستگاه لوله‌بری از گونه صنوبر (*Populus deltoids*) در کارخانه آمل روکش تهیه شدند. ضخامت اسمی لایه‌ها ۲/۵ میلی‌متر بود. سپس لایه‌ها به شرکت بهسازان صنایع چوب ایران واقع در تهران انتقال داده شدند. لایه‌ها با استفاده از دستگاه خشک‌کن دالانی با بستر توری تا رطوبت 6 ± 1 درصد خشک شدند. سپس لایه‌ها با دستگاه گیوتین پنوماتیکی به ابعاد 220×120 سانتی‌متر اندازه‌بری شدند. لایه‌های اندازه‌بری شده با استفاده از چسب پلی‌وینیل استات (PVAc) به مقدار 200 g/m^2 به وسیله غلتک دستی چسب‌زنی شدند و زیر فشار پرس 10 Kg/cm^2 قرار گرفتند. بعد از تولید، الوی‌ال‌ها به کارگاه صنایع چوب و مبلمان دانشگاه تهران انتقال یافتند. الوی‌ال‌ها پس از دوربری برای ساخت اتصال‌ها به ابعاد $15 \times 7/5$ سانتی‌متر مطابق با استاندارد [۲۲] ASTM-D1۷۶۱-۸۸ برش زده شدند. اتصال‌ها با پیچ در سه قطر ۴/۲، ۵ و ۶ میلی‌متر ساخته شدند. برای ساخت اتصال‌ها با پیچ از دریل پیچ‌بند برقی با سرعت ثابت استفاده شد. برای اعمال بار برش خالص، عضو اصلی به عنوان تکیه‌گاه مهار شد و نیرو به صورت موازی و عمود بر لبه عضو اصلی وارد شد. در شکل ۲ ابعاد اتصال‌های ساخته شده، نحوه بارگذاری آنها و نمودار نیروی برشی اعمال شده روی سطح مقطع پیچ نشان داده شده است. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گرفت. در این پژوهش از طرح کاملاً تصادفی و تجزیه



شکل ۳. توزیع تنش و کرنش متناظر الاستیک در اتصال‌دهنده پیچ در جهت بارگذاری موازی با لبه در مدل شبیه‌سازی شده با ANSYS، (الف) تنش برشی خالص، (ب) کرنش الاستیک، (۱) عضو اصلی و پیچ، (۲) عضو اصلی، (۳) عضو فرعی، (۴) اتصال‌دهنده پیچ.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تنش و کرنش در عضو اصلی و فرعی اتصال در ناحیه سوراخ پیش‌ساخته اتصال‌دهنده بیشترین مقدار را داشته است. این ناحیه در عضو اصلی در آزمون‌های تجربی دچار لهیدگی تکیه‌گاهی شد (شکل ۷). در توزیع تنش در اتصال‌دهنده پیچ مشاهده می‌شود که بیشترین تنش در قسمت میانی پیچ بوده است. کرنش الاستیک کمتری در اتصال‌دهنده پیچ نسبت به اعضای اتصال رخ داده است.

نحوه توزیع تنش برشی خالص و کرنش الاستیک مدل شبیه‌سازی شده مربوط به آزمون برش اتصال‌دهنده در مقطع عرضی در جهت بارگذاری عمود بر لبه در شکل ۴ ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، بیشترین تمرکز تنش و کرنش الاستیک در ناحیه بالا و پایین محل اتصال رخ داده است. همچنین در این شکل، توزیع تنش برشی خالص و کرنش الاستیک در اعضای اتصال و اتصال‌دهنده نشان داده شده است.



شکل ۴. توزیع تنش و کرنش متناظر الاستیک در اتصال‌دهنده پیچ در جهت بارگذاری عمود بر لبه در مدل شبیه‌سازی شده با ANSYS، (الف) تنش برشی خالص، (ب) کرنش الاستیک، (۱) عضو اصلی و پیچ، (۲) عضو اصلی، (۳) عضو فرعی، (۴) اتصال‌دهنده پیچ.

آزمون اتصال‌های تجربی

پس از بررسی نحوه توزیع تنش و کرنش مدل شبیه‌سازی شده اتصال، برای صحت مدل، آزمون‌های تجربی نیز بررسی شدند. مقادیر میانگین و انحراف معیار آزمون برش پیچ در مقطع عرضی الویال در جهت بارگذاری موازی و عمود بر لبه عضو اصلی در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بیشترین نیروی برشی اتصال‌های ساخته شده با الویال ۱/۹۶۵ کیلونیوتن مربوط به حالت بارگذاری عمود بر لبه عضو اصلی در اتصال با پیچ به قطر ۶ میلی‌متر بوده است. کمترین نیروی برشی به میزان ۱/۲۹۰ کیلونیوتن در

در مقایسه دو نوع بارگذاری در بخش مدل‌سازی به‌خوبی می‌توان دریافت که در حالت بارگذاری در جهت موازی با لبه، اعضای اتصال و اتصال‌دهنده پیچ در معرض تنش و کرنش بیشتری قرار داشته است. این تمرکز تنش سبب شده است که اتصال در این حالت بارگذاری عملکرد ضعیف‌تری از خود نشان دهد. درحالی که در حالت بارگذاری عمود بر لبه توزیع تنش و کرنش در اعضای اتصال و اتصال‌دهنده کمتر بوده و این موضوع سبب مقاومت بیشتر اتصال در این حالت بارگذاری شده است. به عبارت دیگر فاصله بیشتر اتصال‌دهنده از لبه سبب شده است که تمرکز تنش کمتری در این حالت بارگذاری رخ دهد.

مطابق با نتایج ارائه شده، جهت اعمال نیرو در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی دار بوده است. تأثیری معنی داری در اثر مستقل اندازه اتصال دهنده (قطر پیچ) و اثر متقابل جهت اعمال نیرو و اندازه اتصال دهنده مشاهده نشده است.

اتصال‌های ساخته شده با پیچ به قطر ۵ میلی‌متر در جهت بارگذاری موازی با لبه مشاهده شده است. همچنین نتایج مربوط به تجزیه واریانس آزمون نیروی برشی اتصال دهنده پیچ در مقطع عرضی الوی‌ال در جهت بارگذاری موازی و عمود بر لبه در جدول ۳ آمده است.

جدول ۲. مقادیر میانگین و انحراف معیار نیروی برشی اتصال دهنده پیچ در الوی‌ال

| انحراف معیار | نیروی برشی (کیلو نیوتن) | قطر پیچ | حالت بارگذاری |
|--------------|-------------------------|---------|---------------|
| ۰/۱۱۵ | ۱/۶۵۱ | ۴/۲ | موازی با لبه |
| ۰/۳۲۲ | ۱/۲۹۰ | ۵ | |
| ۰/۳۱۱ | ۱/۳۴۳ | ۶ | |
| ۰/۳۶۷ | ۱/۷۲۷ | ۴/۲ | عمود بر لبه |
| ۰/۳۹۵ | ۱/۸۲۲ | ۵ | |
| ۰/۲۶۳ | ۱/۹۶۵ | ۶ | |

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس نیروی برشی اتصال دهنده پیچ در الوی‌ال

| Sig. | F | میانگین مربعات | درجه آزادی | منابع تغییرات |
|-------|--------|----------------|------------|-------------------------------------|
| ۰/۰۰۱ | ۱۳/۱۶۳ | ۱۲۵۷۸۱/۶۳ | ۱ | جهت اعمال نیرو |
| ۰/۶۱۴ | ۰/۴۹۸ | ۴۷۶۱۴/۵۳ | ۲ | اندازه اتصال دهنده |
| ۰/۱۲۸ | ۲/۲۴۴ | ۲۱۴۴۲/۱۳ | ۲ | جهت اعمال نیرو * اندازه اتصال دهنده |

قطر پیچ مقاومت در برابر نیروی برشی در مقطع عرضی الوی‌ال کاهش یافته است. ظرفیت تحمل بار برشی در اتصال‌های ساخته شده با اتصال دهنده پیچ با افزایش قطر پیچ از ۴/۲ به ۵ و ۶ به ترتیب ۸ و ۲ درصد کاهش یافته است. همچنین مطابق گروه‌بندی دانکن هر سه سطح قطر در یک گروه مقاومتی قرار گرفته‌اند.

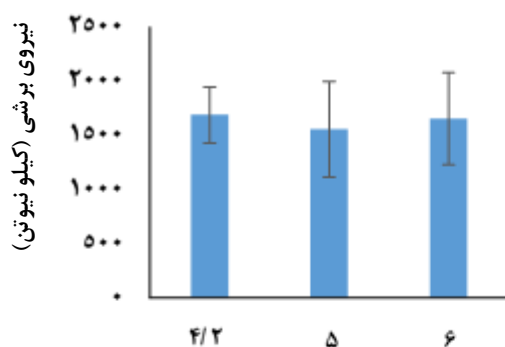
اثر متقابل جهت اعمال نیرو و اندازه اتصال دهنده در شکل ۵ ج نشان داده شده است. مطابق این شکل رفتار پیچ در برابر بار برشی متأثر از نوع بارگذاری بوده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در اتصال زیر بار برشی موازی با لبه بیشترین مقاومت اتصال مربوط به اتصال‌های ساخته شده با پیچ به قطر ۴/۲ میلی‌متر به میزان ۱/۶۵۱ کیلو نیوتن بوده است، در حالی که بیشترین مقاومت در حالت بارگذاری عمود بر لبه مربوط به اتصال با پیچ به قطر ۶ میلی‌متر به میزان ۱/۹۶۵ کیلو نیوتن بوده است.

شکل ۵ الف اثر مستقل جهت اعمال نیرو را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقاومت اتصال‌های ساخته شده در جهت اعمال نیرو عمود بر لبه نسبت به حالتی که نیرو در جهت موازی با لبه اعمال شده، بیشتر بوده است. مقاومت در برابر نیروی برشی در جهت عمود بر لبه ۲۸ درصد از اتصال‌ها در حالت بارگذاری موازی با لبه بیشتر بوده است. علت بیشتر بودن مقاومت برشی اتصال در حالت بارگذاری عمود بر لبه را می‌توان به متفاوت بودن شکست در عضو اصلی اتصال ربط داد. همان‌طور که در بخش مدل‌سازی نیز مشاهده شد تمرکز تنش در اتصال زیر بار برشی در حالت موازی با لبه بیشتر بوده و این موضوع سبب شده که اتصال در این حالت بارگذاری مقاومت کمتری از خود نشان دهد.

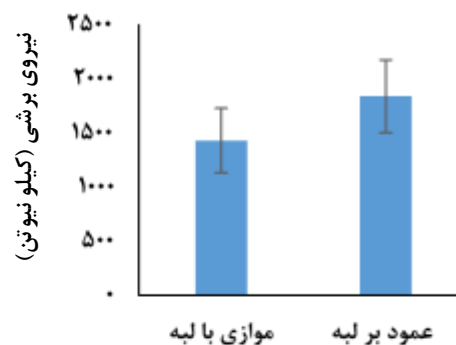
در شکل ۵ ب اثر مستقل قطر پیچ بر مقاومت برشی اتصال نشان داده شده است. مطابق این شکل با افزایش

میلی‌متر بیشتر بوده است. کاهش مقاومت اتصال در حالت بارگذاری موازی با لبه با پیچ به قطر ۴/۲ نسبت به پیچ با قطر ۵ و ۶ میلی‌متر به ترتیب ۲۷ و ۲۲ درصد بوده است.

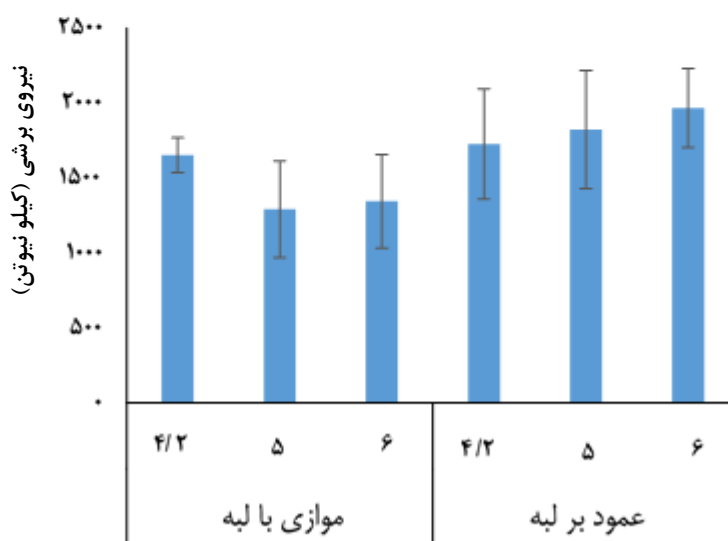
افزایش مقاومت اتصال در برابر بار برشی در حالت بارگذاری عمود بر لبه با پیچ به قطر ۶ میلی‌متر به ترتیب ۱۳ و ۷ درصد نسبت به اتصال با پیچ به قطر ۴/۲ و ۵



ب) اثر مستقل قطر پیچ



الف) اثر مستقل جهت اعمال نیرو



ج) اثر متقابل جهت اعمال نیرو و قطر پیچ

شکل ۵. اثر مستقل و متقابل متغیرهای تحت بررسی در آزمون نیروی برشی اتصال‌دهنده پیچ ال‌وی‌ال

میلی‌متر بوده و در حالت بارگذاری عمود بر لبه بیشترین مقاومت در اتصال با پیچ به قطر ۶ میلی‌متر مشاهده شده است. با توجه به مد شکست می‌توان گفت در ظرفیت تحمل بار برشی در حالت اعمال نیرو در جهت موازی با لبه، پیچ با قطر کمتر موجب تمرکز تنش کمتر در ناحیه عضو اصلی اتصال شده و این موضوع سبب افزایش

مد شکست

همان‌طور که ملاحظه شد، قطر پیچ در ظرفیت تحمل بار برشی اتصال با توجه به حالت بارگذاری عملکرد متفاوتی از خود نشان داده است. به طوری که در جهت موازی با لبه بیشترین مقاومت مربوط به اتصال با پیچ به قطر ۴/۲

محل اتصال با پیچ در ناحیه پایین پیچ دچار لهیدگی شد که در این حالت پیچ با قطر ۶ میلی‌متر دارای مقاومت بیشتر بوده است. علت این موضوع را می‌توان به فاصله بیشتر ناحیه تنش از لبه در جهت اعمال نیرو دانست. فاصله بیشتر ناحیه تراکم تنش تا لبه و همچنین جهت قرارگیری لایه‌ها سبب می‌شود که شکست در این ناحیه به صورت لهیدگی رخ دهد. در این مد شکست با توجه به اینکه سطح درگیر عضو اتصال با اتصال‌دهنده با افزایش قطر افزایش یافته، سبب افزایش مقاومت در برابر بار جانبی در اتصال‌های ساخته شده با پیچ قطورتر شده است. لهیدگی عضو اصلی در آزمون نیروی برشی در جهت عمود بر لبه در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که در نتایج مربوط به مد شکست مشاهده شد، شکست و لهیدگی در ناحیه‌ای از اتصال رخ داد که در مدل شبیه‌سازی شده با نرم‌افزار دارای بیشینه تنش-کرنش بود. بنابراین می‌توان گفت همخوانی خوبی از مقایسه یافته‌های تجربی و اطلاعات مستخرج از تحلیل نرم‌افزار حاصل شده که در پژوهش‌های پیشین نیز این همخوانی به دست آمده است [۱۴-۱۷].

مقاومت اتصال شده است. به عبارت دیگر در اتصال‌های تحت اعمال نیرو در جهت موازی با لبه شکست در ناحیه پایین عضو اصلی رخ داده است که قطر بیشتر پیچ سبب شکست زودرس در این ناحیه و در نتیجه کاهش مقاومت شده است. شکل ۶ مد شکست در عضو اصلی اتصال در برابر بار برشی در حالت بارگذاری موازی با لبه را نشان می‌دهد. مطابق این شکل مد شکست در اتصال با قطر پیچ ۵ و ۶ میلی‌متری به صورت شکست زنگی رخ داده است که نشان‌دهنده شکست زودرس در عضو اصلی بوده است. به عبارتی می‌توان گفت شکست در عضو اصلی در برابر بار جانبی قبل از ظرفیت تحمل بار جانبی پیچ رخ داده و این شکست زودرس موجب کاهش ظرفیت تحمل بار جانبی پیچ شده است. در این نوع شکست می‌توان عامل تعیین‌کننده مقاومت را عضو اتصال دانست. در اتصال‌های ساخته شده با پیچ به قطر ۴/۲ تمرکز تنش در این ناحیه کمتر بود. به همین علت در این قطر از پیچ شکست در عضو اصلی اتصال بسیار ناچیز بوده و پیچ بیشتر از عضو اصلی کشیده شده است. در حالت بارگذاری عمود بر لبه اتصال شکستگی مشاهده نشد و عضو اصلی اتصال

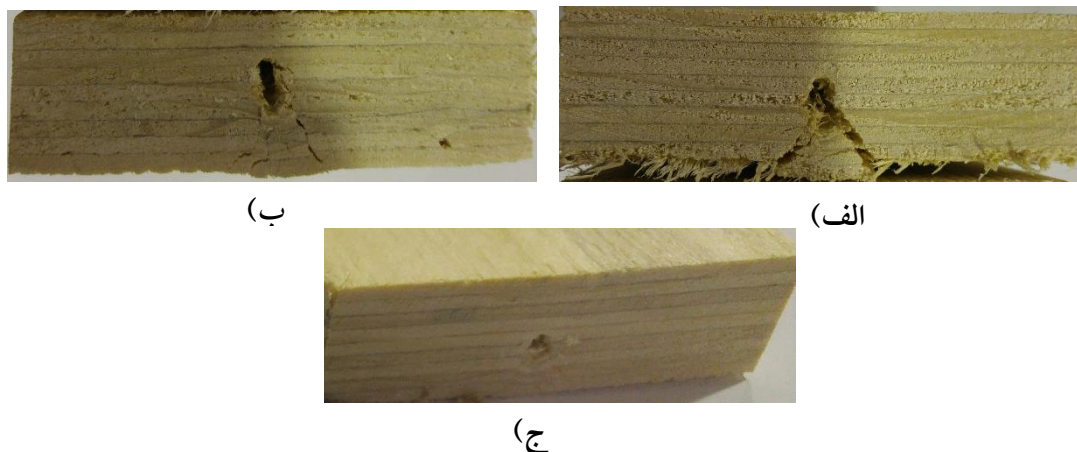


ج

ب

الف

شکل ۶. مد شکست در عضو اصلی اتصال در حالت بارگذاری موازی با لبه، الف) مد شکست اتصال با پیچ، قطر ۶ میلی‌متر، ب) قطر ۵ میلی‌متر، ج) قطر ۴/۲ میلی‌متر.



شکل ۷. لهیدگی در عضو اصلی اتصال در حالت بارگذاری عمود بر لبه، الف) لهیدگی در اتصال با پیچ، قطر ۴/۲ میلی‌متر، ب) قطر ۵ میلی‌متر، ج) قطر ۶ میلی‌متر.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف مدل‌سازی اتصال با روش اجزای محدود برای بررسی عملکرد اتصال‌های ساخته‌شده از الوی‌ال با اتصال‌دهنده پیچ زیر بار برشی در دو حالت موازی و عمود بر لبه انجام گرفت. نتایج مربوط به شبیه‌سازی اتصال و نحوه توزیع تنش و کرنش در اتصال در هر دو حالت بارگذاری نشان داد که بیشترین تمرکز تنش در سوراخ پیش‌ساخته پیچ در عضو اصلی اتصال داده است. در اتصال‌دهنده پیچ تمرکز تنش در ناحیه میانی پیچ بیشتر بود. کرنش الاستیک در اتصال‌دهنده پیچ نسبت به اعضای اتصال کمتر بود. در آزمون‌های تجربی مقاومت اتصال‌های در برابر بار جانبی تحت تأثیر قطر پیچ و نوع بارگذاری بود. اتصال‌ها در حالت بارگذاری عمود بر لبه مقاومت بیشتری نسبت به حالت بارگذاری موازی با لبه داشته‌اند. قطر پیچ با توجه به حالت بارگذاری می‌تواند عامل محدودکننده یا تقویت‌کننده باشد، به طوری که قطر پیچ در حالت بارگذاری عمود بر لبه سبب افزایش مقاومت اتصال شده است، درحالی که افزایش قطر موجب

کاهش مقاومت در اتصال در حالت بارگذاری موازی با لبه شده است. قطر پیچ و فاصله از لبه عضو اصلی سبب مشاهده مدهای شکست متفاوتی در دو حالت بارگذاری شد. نتایج تحلیل توزیع تنش - کرنش مدل شبیه‌سازی شده اتصال با مد شکست اتصال‌های تجربی همخوانی خوبی داشتند. در نهایت با توجه به رشد و توسعه صنعت کامپیوتر و همچنین هزینه‌های زیاد روش‌های تجربی به‌منظور پژوهش در صنایع مبلمان استفاده از روش اجزای محدود برای عملکرد اتصال یا سازه مبلمان در برابر بارهای واردشده در سرویس به طراحان سازه در این صنایع پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

مؤلفان سپاسگزاری و قدردانی خود را از حمایت‌های مالی قطب علمی مدیریت کاربردی گونه‌های چوبی تند رشد دانشگاه تهران در زمینه پیشبرد اهداف این پژوهش تقدیم می‌دارند.

References

- [1]. Eckelman, C. A. 2003. Textbook of product engineering and strength design of furniture. West Lafayette (IN): Purdue University Press.

- [2]. Yildirim, M.N., Önder, T.O.R., and Karaman, A. (2018). The Bending Moment Resistance of Corner Joints Reinforced with Glass Fiber Polymer. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Derg*, 18(3): 350-356.
- [3]. Smardzewski, J. (2002). Technological heterogeneity of adhesive bonds in wood joints. *Wood Science and Technology*, 36(3): 213-227.
- [4]. 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.
- [5]. 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.
- [6]. Taj, M. A., Najafi, S. K., 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.
- [7]. Kasal, A. (2008). Effect of the number of screws and screw size on moment capacity of furniture corner joints in case construction. *Forest Products Journal*, 58(6): 36-44.
- [8]. Rajak, Z., and Eckelman, C.A. (1996). Analysis of corner joints constructed with large screws. *Journal Trop Forest Product*, 2(1): 80-92.
- [9]. Çınar, H., Atar, M., and Üstündag, A. (2019). The Impact of Dovetail Angle in Single Dovetail Joints on Diagonal Compression Strength of Corner Joints for Box-Type Furniture. *Forest Products Journal*, 69(2): 131-140.
- [10]. Yıldıırım, M. N., Karaman, A., and Uslu, E. (2020). Determination of shear force capacity of H-type box furniture joints connected with different demountable type of connection elements. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 34(8): 867-876.
- [11]. Krzyżaniak, Ł., and Smardzewski, J. (2019). Strength and stiffness of new designed externally invisible and demountable joints for furniture cases. *Engineering Structures*, 199: 109674.
- [12]. Jones, A., and Lutes, R. (1993). *Handbook of Joinery*. USA: Sterling Press, New York.
- [13]. Majewski, A., Krystofiak, T., and Smardzewski, J. (2020). Mechanical Properties of Corner Joints Made of Honeycomb Panels with Double Arrow-Shaped Auxetic Cores. *Materials*, 13(18): 4212.
- [14]. Demirci, H. İ. (2011). The experimental and finite element analysis of diagonal tensile tests conducted on frame-type constructed corner joints. *Technology*, 14(1): 11-21.
- [15]. Smardzewski, J., Rzepa, B., and Kiliç, H. (2016). Mechanical properties of externally invisible furniture joints made of wood-based composites. *BioResources*, 11(1): 1224-1239.
- [16]. Hu, W., Liu, N., and Guan, H. (2020). Experimental and numerical study on methods of testing withdrawal resistance of mortise-and-tenon joint for wood products. *Forests*, 11(3): 280.
- [17]. Dalvand, M., and Moradpour, M. (2017). Analysis of stress- strain distribution of dowel and glue line in L-type furniture joint by means of finite element method. *Iranian journal of wood and paper industries*, 8(2): 297-307.
- [18]. Williamson, T.G. (2002). *APA engineered wood handbook*. McGraw-Hill Professional Publishing.
- [19]. Eckelman, C.A. (1993). Potential uses of laminated veneer lumber in furniture. *Forest Products Journal*, 43:19-24.
- [20]. NDS National Design Specification for Wood Construction: With Commentary. American Wood Council, 2015.
- [21]. Ross, R.J. (2010). *Wood handbook: wood as an engineering material*. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190, 2010: 509 p.
- [22]. Standard Test Methods for Mechanical Fasteners in Wood, Annual Book of ASTM Standard, D 1761, 2000.

Numerical modeling of screw connector performance in LVL under shear loading

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

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

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

(Received: 10 March 2021, Accepted: 13 June 2021)

ABSTRACT

Joints are one of the most important parts in the engineering design of structure since they are the basis of structural failures. Therefore, manufacturers are interested in making sure that the strength of the proposed joints in the structure is sufficient. Numerical analysis is an assuring method for joint strength assessment. In this study, finite element method modeling was applied to evaluate the performance of screw connected joints with Laminated Veneer Lumber (LVL) members, under shear load, applied parallel and perpendicular to the edge of the side member. Test joints were made with screws, having a diameter range of 4.2, 5, and 6 mm. ANSYS software was used to simulate joints for evaluating the value of stress history resulting from the applied load. Results have shown that the highest strength has occurred in pilot holes in the main member and middle of the screw's shank. These values of stresses had a higher rate when the joint was loaded parallel to the edge of the side member. Modes of failure were observed in test joints, bearing, and bell shape, at points where the highest stresses were generated. Collected data have indicated that joints under perpendicular load had a rather better performance. The stress carrying capacity of the joint under parallel load to the edge of the side member decreases with an increase in the diameter of the screw, while in perpendicular loading, it increases with an increase in screw diameter. Since a good agreement is seen between experimental data and numerical results, this method is recommended for analyzing and predicting the failure of joints in furniture structures.

Keywords: LVL, Numrical modeling, Shear load, Screw, Finite element method, Stress.

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