

تحلیل توزیع تنش-کرنش پین چوبی و خط چسب در اتصال مبلمان L شکل با استفاده از اجزای محدود

چکیده

در این پژوهش توزیع تنش و کرنش سه‌بعدی در پین چوبی و خط چسب در اتصال-های L شکل ساخته‌شده از تخته چندلا با پین چوبی موردبررسی قرار گرفته است. اعضای اتصال از تخته چندلا ۱۹ میلی‌متر ساخته‌شده از گونه‌های پهن‌برگ (راش، توسکا و ممرز) بودند. در این پژوهش اثر قطر پین چوبی راش (۶، ۸ و ۱۰ میلی‌متر) و عمق نفوذ (۹، ۱۳ و ۱۷ میلی‌متر)، بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌ها L شکل زیر بار فشاری به‌صورت تجربی موردبررسی قرار گرفت، سپس توزیع تنش و کرنش پین چوبی و خط چسب آزمون‌ها به روش اجزای محدود و با استفاده از نرم‌افزار ANSYS شبیه‌سازی شدند. نتایج نشان دادند که ظرفیت لنگر خمشی با افزایش قطر پین از ۶ به ۸ میلی‌متر روند افزایشی داشته است، ولی با افزایش پین از ۸ به ۱۰ میلی‌متر روند نزولی مشاهده‌شده است. ظرفیت لنگر خمشی با افزایش عمق نفوذ افزایش یافت. نتایج تحلیل عناصر محدود نشان دادند که با افزایش قطر پین میزان تنش و کرنش در پین و خط چسب افزایش می‌یابد و این افزایش تنش در اتصال-های ساخته‌شده با پین به قطر ۱۰ میلی‌متر باعث شکست اعضای اتصال و در نتیجه کاهش مقاومت اتصال شده است. همچنین بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل مدل، بیشترین تنش در پین و خط چسب، در محل اتصال بین اعضای اتصال به وجود آمده است.

واژگان کلیدی: تنش، کرنش، پین چوبی، اتصال L شکل، روش اجزای محدود.

مسیب دلوند^۱

پیام مرادپور^{۲*}

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

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

مسئول مکاتبات:

pmoradpour@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۸

مقدمه

تحلیل سازه وقتی با نرم‌افزار عملی شد، انجام آن برای متخصصان آسان شده است. از این تسهیلات برای تحلیل سازه مبلمان می‌توان استفاده کرد. افزون بر این تسلط بر اصول روش‌های نرمی و سفتی تحلیل سازه و به دنبال آن کاربرد اجزای محدود (FEM)، جهت بهره‌گرفتن از فناوری مدل‌سازی با روش اجزای محدود، پیش‌نیازی لازم در طراحی مهندسی سازه مبلمان می‌باشند [۱]. هدف از

طراحی مبلمان به حداقل رساندن و استفاده بهینه از ماده چوبی و مقاومت حداکثر سازه است. تولیدکنندگان مبلمان معمولاً از تحلیل استاتیکی برای یافتن نیروهای وارد بر سازه مبلمان برای طراحی‌های خود استفاده نمی‌کنند، هرچند موضوع تحلیل بارهای وارد بر سازه مبلمان همواره موضوع موردعلاقه پژوهشگران بوده است [۲]؛ بنابراین تلاش‌های پژوهشی فراوانی در مورد بارهای وارده بر مبلمان و تحلیل این بارها انجام شده است. Lee و Wang (۲۰۱۴) توان نگرنداری پین چوبی در گونه افرا قندی را با

عملکرد سازه‌ای مبلمان خصوصاً هنگامی که هندسه قطعه و شرایط بارگذاری پیچیده باشند بسیار مفید دانسته‌اند. [۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴].

همان‌طور که مرور پیشینه پژوهش نشان می‌دهد محاسبه مقدار تنش‌های وارده بر اتصال‌های مبلمان می‌تواند به روش‌های تجربی، عددی و تئوری انجام گردد. در مقایسه با دیگر روش‌ها، استفاده از روش اجزای محدود برای محاسبه تنش- کرنش یک روش نسبتاً جدید در تحلیل عملکرد سازه مبلمان در برابر بارهای وارده برای طراحان برای طراحی سازه مبلمان با ضریب ایمنی و اطمینان بالا است؛ بنابراین، در پژوهش حاضر عملکرد سازه‌ای و همچنین تحلیل توزیع تنش- کرنش پین چوبی و خط چسب در اتصال‌های گوشه‌ای L شکل با استفاده از روش اجزای محدود مورد بررسی قرار گرفته است تا اطلاعات مفیدی در اختیار طراحان سازه مبلمان برای طراحی با رعایت اصول مهندسی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای ساخت اتصال‌ها از تخته چندلا ساخته‌شده از گونه‌های پهن‌برگ (راش، توسکا و مرمر) و پین راش استفاده شده است. ضخامت تخته‌ها ۱۹ میلی-متر بود. تخته‌ها به دو سری ابعاد ۲۳×۱۶ و $۲۳ \times ۱۴/۱$ برش داده‌شده‌اند. اعضای اتصال با استفاده از دریل با سرعت ثابت سوراخ‌کاری شدند. عمق نفوذ در سه سطح ۹، ۱۳ و ۱۷ میلی‌متر و قطر پین در سه سطح ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌متر به‌عنوان متغیر انتخاب شدند. پس از سوراخ‌کاری اعضای اتصال با پین راش و چسب PVA به هم متصل شدند و تا گیرایی کامل چسب (۲۴ ساعت) زیر فشار قرار گرفتند. برای بررسی دقیق اثر قطر و عمق نفوذ پین از یک‌لایه کاغذ مومی برای جلوگیری از چسبیدن اعضای اتصال استفاده شد. این عمل باعث می‌شود که اتصال بین اعضا فقط از طریق پین چوبی صورت گیرد. نمونه‌ها برای تعیین ظرفیت لنگر خمشی با ماشین اینسترون مدل ۴۴۸۶ مورد آزمایش قرار گرفتند. سرعت بارگذاری 5 mm/min تنظیم شد. برای محاسبه ظرفیت لنگر خمشی از فرمول ۱ استفاده شد. در مجموع ۹ تیمار و برای هر تیمار ۵ تکرار در نظر گرفته شد. در این پژوهش از

روش اجزای محدود شبیه‌سازی کرده‌اند. نتایج این بررسی نشان دادند که توان نگاه‌داری پین چوبی به نوع تخته و زاویه دوار پین بستگی دارد [۳]. Ke و همکاران (۲۰۱۶) بهینه‌سازی اتصال‌های گوشه‌ای L شکل با پین را با روش اجزای محدود بررسی کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داده‌اند که بهترین حالت اتصال L شکل در اتصال‌های فارسی با پین به قطر ۶ میلی‌متر، عمق نفوذ ۲۴ میلی‌متر و فاصله ۲۰ میلی‌متر بین دو پین به‌دست‌آمده است [۴]. Tankut و Tankut (۲۰۰۹ و ۲۰۱۰) عملکرد اتصال‌های L شکل زیر بار فشاری و کششی را بررسی کرده‌اند. این پژوهشگران گزارش کرده‌اند اتصال‌های L شکل زیر بار کششی عملکرد بهتری را نسبت به بارگذاری فشاری داشته‌اند [۵ و ۶]. در پژوهشی مشابه Segovia و همکاران (۲۰۱۲) اتصال‌های ساخته‌شده با جوش پین چوبی را مورد مطالعه قرار داده‌اند. آن‌ها گزارش کردند که اختلاف معنی‌داری بین بارگذاری کششی و فشاری وجود دارد [۷]. نتایج پژوهش Oktace و همکاران (۲۰۰۵) نشان داده‌اند که بهترین حالت مربوط به اتصال‌های L شکل با کام و زبانه زیر بار کششی و فشاری از اتصال‌های ساخته‌شده با ضخامت زبانه ۱۰ میلی‌متر، عرض $۳۷/۵$ میلی‌متر و طول ۳۰ میلی‌متر بوده است [۸]. Kasal (۲۰۰۶) مقاومت قاب مبلمان راحتی ساخته‌شده از اعضای مختلف را با روش اجزای محدود بررسی کرده‌اند و نشان داده‌اند که تحلیل سه‌بعدی سازه‌ای با استفاده از روش اجزای محدود تخمین قابل‌قبولی در عملکرد سازه‌ای قاب مبلمان راحتی داشته است. این پژوهشگر استفاده از فرآورده‌های مرکب چوبی (OSB، MDF و تخته چندلا) را جایگزینی مناسب برای ساخت قاب مبلمان به‌جای چوب ماسیو دانسته است [۹]. پژوهش انجام‌شده توسط Smardzewski و Papuga (۲۰۰۴) بر روی تمرکز تنش در اتصالات گوشه‌ای کام و زبانه و اتصال پین چوبی را در قاب صندلی چوبی به روش اجزای محدود مشخص کردند که توزیع تنش مدل شبیه‌سازی‌شده با شرایط مرزی یک آزمایش واقعی همخوانی دارد و توزیع تنش در اجزای صندلی مورد بررسی این پژوهشگران هماهنگی خوبی با شرایط آزمایشگاهی از خود نشان داده است [۱۰]؛ بنابراین بسیاری از پژوهشگران استفاده از روش اجزای محدود را در بررسی

شکل هندسی شبیه‌سازی شده در شکل ۱ نشان داده شده است. پس از شبیه‌سازی اتصال خواص مواد مطابق جدول ۱ تعیین شد و سپس برای تبدیل مدل شبیه‌سازی شده به اجزای محدود از المان چهاروجهی ۱۰ گره‌ای (Tetrahedral) با حداکثر ابعاد ۸ میلی‌متر برای مش‌بندی اعضای افقی و عمودی و از المان شش‌وجهی ۲۰ گره‌ای (Hexahedral) با ابعاد حداکثر ۲ میلی‌متر برای مش‌بندی پین و لایه‌ی چسب استفاده شد. ضخامت لایه چسب در این پژوهش ۰/۱ میلی‌متر در نظر گرفته شد. بر اساس مطالعه‌ی Smardzewski و Papuga (۲۰۰۴)، ابعاد المان‌های مورد استفاده برای مش‌بندی زبانه و لایه‌ی چسب کوچک‌تر از المان‌های اعضای افقی و عمودی اتصال در نظر گرفته شده است. این مسئله باعث افزایش دقت اندازه‌گیری تنش و کرنش در بخش‌های زبانه (پین) و لایه‌ی چسب می‌شود. همچنین با کوچک‌تر در نظر گرفتن ابعاد المان‌ها، امکان مش‌بندی بخش‌هایی از اتصال که دارای هندسه پیچیده و ظریفی هستند نیز فراهم می‌شود. مدل مش‌بندی شده‌ی اتصال L شکل و پین در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است.

طرح کاملاً تصادفی و تجزیه واریانس و برای مقایسه میانگین‌ها از روش دانکن استفاده شده است.

$$M = P \cdot L_{\max} \quad (1)$$

M = ظرفیت لنگر خمشی (N.m)

P = حداکثر بار (N)

L = طول بازو (m)

تحلیل توزیع تنش و کرنش با نرم‌افزار ANSYS

پس از انجام مراحل آزمایشگاهی و به دست آوردن مقادیر ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌ها، شبیه‌سازی این اتصال‌ها با نرم‌افزار ANSYS ۱۵ انجام شد. شبیه‌سازی با نرم‌افزار ANSYS در سه‌گام انجام شد.

- ۱- شبیه‌سازی هندسی - انتخاب المان - تعیین خواص ماده - تبدیل مدل شبیه‌سازی شده به مدل اجزای محدود به کمک انجام شبکه‌بندی
- ۲- تعیین نوع تحلیل - اعمال شرایط مرزی و شرایط اولیه - بارگذاری و سپس تحلیل مسئله به کمک حل‌کننده‌ی نرم‌افزار
- ۳- مشاهده نتایج به صورت گرافیکی

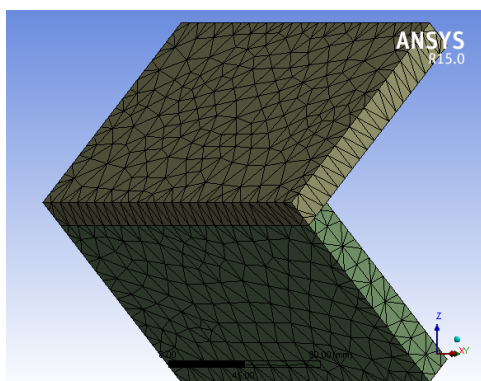
جدول ۱- خواص مواد مورد استفاده در این پژوهش

پارامترها	EL	ER (MPa)	ET	GLR	GLT (MPa)	GRT	VLR	VL	VRT	VTR	VRL	VTL
تخته چندلا	۱۴۵۰۰	۱۵۶۷	۷۸۳	۱۰۴۴	۸۹۹	۱۷۴	۰/۳۷	۰/۵۰	۰/۶۷	۰/۳۳	۰/۰۴	۰/۲۷
پارامترها	E (MPa)		G (MPa)		v							
چسب	۴۰۰		۱۴۸		۰/۳							

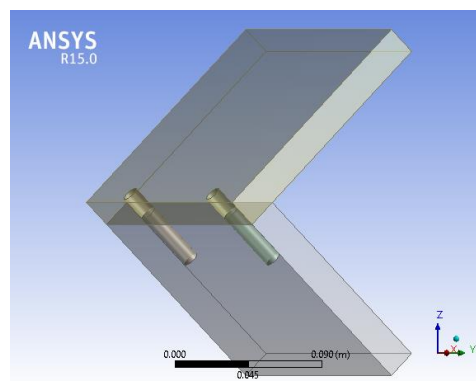
آزمونه‌ها در حالت آزمایشگاهی، در محیط نرم‌افزار لبه پایین یک عضو اتصال مهار شد و در لبه عضو دیگر نیرو اعمال شد.

اعمال شرایط مرزی و بارگذاری

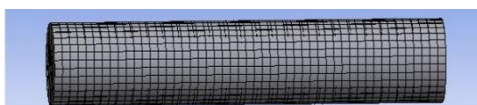
برای بارگذاری اتصال در محیط نرم‌افزار، حداکثر بار به دست آمده از آزمون‌های تجربی به عنوان بار شکست برای تحلیل در نظر گرفته شد. با توجه به حالت فیزیکی



شکل ۲- المان‌های Hexahedral برای مش بندی عضو افقی و عمودی اتصال



شکل ۱- شکل هندسی شبیه‌سازی شده در محیط Design Modeler



شکل ۳- المان‌های Tetrahedral برای مش بندی پین و لایه‌ی چسب

مورد بررسی، ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول نشان داده شده است عامل‌های متغیر مستقل قطر و عمق نفوذ پین در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی دار بوده‌اند.

نتایج و بحث

در جدول ۲ مقادیر میانگین و انحراف معیار مربوط به عامل‌های متغیر قطر و عمق نفوذ پین آمده است. در جدول ۳ نتایج مربوط به تجزیه واریانس عامل‌های متغیر

جدول ۲- مقادیر ظرفیت لنگر خمشی اتصال زیر بار فشاری در قطر و عمق نفوذهای مختلف

انحراف معیار	ظرفیت لنگر خمشی (N.m)	قطر پین (mm)	عمق نفوذ (mm)
۱/۲۶	۱۹/۱۸	۶	۹
۳/۴۱	۲۷/۸	۸	
۲/۴۴	۲۳/۶	۱۰	
۴/۲۸	۲۶/۴۱	۶	۱۳
۲/۸۹	۳۷/۹۱	۸	
۴/۲	۳۲/۶۷	۱۰	
۲/۰۵	۲۷/۹۸	۶	۱۷
۷/۱۹	۴۵/۱۸	۸	
۴/۱۳	۳۳/۰۸	۱۰	

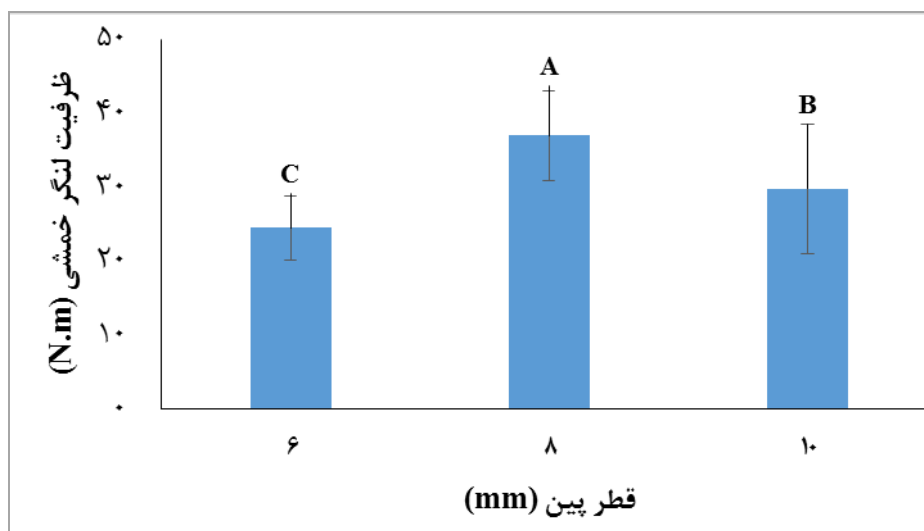
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال زیر بار فشاری

Si g.	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	عوامل متغیر مستقل و متقابل
۰/۰۰۰*	۵۸۴/۸۰	۱۱۶۹/۶۰	۲	قطر پین
۰/۰۰۰*	۵۷۰/۵۶	۱۱۴۱/۱۸	۲	نفوذ عمق
۰/۰۰۰**	۳۱/۹۰	۱۲۷/۶۵	۴	نفوذ عمق * قطر پین

* معنی داری در سطح اعتماد ۹۹٪ ** عدم معنی داری

دلیل بیشتر بودن ظرفیت لنگر خمشی اتصال با پین به قطر ۸ میلی‌متر نسبت به پین با قطر ۱۰ میلی‌متر زیر بار فشاری را می‌توان شکست زودرس اعضای اتصال زیر این نوع بارگذاری دانست. به عبارت دیگر با افزایش قطر پین، فاصله بین لبه سوراخ پین با لبه عضو کمتر شده و باعث شکست در عضو اصلی (سطح) اتصال می‌شود. ولی در پین با قطر ۶ و ۸ میلی‌متر شکست در خود پین رخ داد.

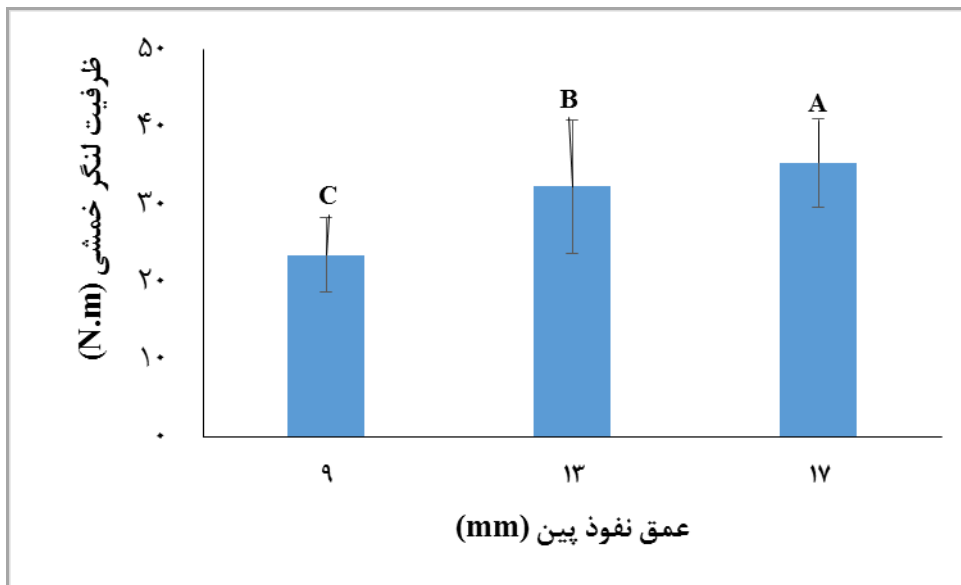
شکل ۴ رابطه ظرفیت لنگر خمشی و قطر پین در سطوح مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، با افزایش قطر پین ظرفیت لنگر خمشی زیر بار فشاری، به صورت خطی افزایش پیدا نکرده و بیشترین میزان ظرفیت لنگر خمشی مربوط به پین با قطر ۸ میلی‌متر بوده است. ظرفیت لنگر خمشی اتصال زیر بار فشاری با پین به قطر ۸ میلی‌متر نسبت به پین با قطر ۶ و ۱۰ میلی‌متر به ترتیب ۵۵ و ۱۵ درصد افزایش داشته است.



شکل ۴- اثر مستقل قطر پین بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال زیر بار فشاری (حروف روی نمودار گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهند)

بیشتر بوده است. افزایش ظرفیت لنگر خمشی در عمق نفوذ بیشتر را می‌توان به سطح تماس بیشتر بین پین و اعضای اتصال نسبت داد. به عبارتی دیگر با افزایش عمق نفوذ سطح چسب خور افزایش یافته و باعث مقاومت بیشتر اتصال شده است.

شکل ۵ تأثیر عمق نفوذ بر ظرفیت لنگر خمشی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است با افزایش عمق نفوذ ظرفیت لنگر خمشی افزایش یافته است. میانگین ظرفیت لنگر خمشی اتصال با عمق نفوذ ۱۷ میلی‌متر نسبت به عمق نفوذ ۹ و ۱۳ میلی‌متر به ترتیب ۴۴٪ و ۷٪



شکل ۵- اثر مستقل عمق نفوذ بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال زیر بار فشاری (حروف روی نمودار گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهند)

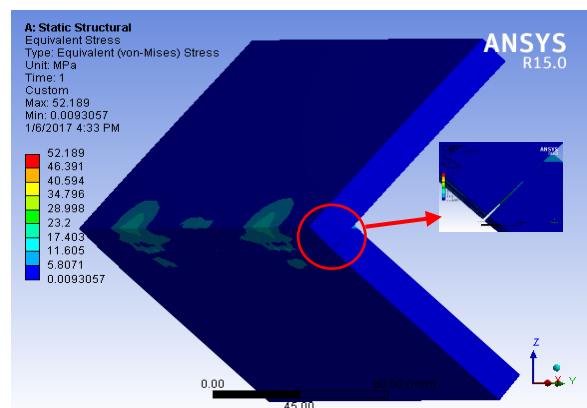
متر بود در نتیجه این اتصال برای بررسی توزیع تنش و کرنش در اعضای اتصال L شکل به روش عناصر محدود انتخاب شد. خروجی نرم‌افزار در شرایط مختلف توزیع تنش و کرنش مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده از تحلیل اجزای محدود، اعضای اتصال در قسمت به هم متصل شده در گوشه‌ی بیرونی اتصال از هم جدا شدند که در شکل ۶ نشان داده شده است. در آزمون-های تجربی حالت مشابهی دیده شده است (شکل ۷).



شکل ۷- جدا شدن اعضای اتصال‌های تجربی زیر بار فشاری

تحلیل توزیع تنش-کرنش و مدهای شکست اتصال‌های L شکل زیر بار فشاری به روش عناصر محدود

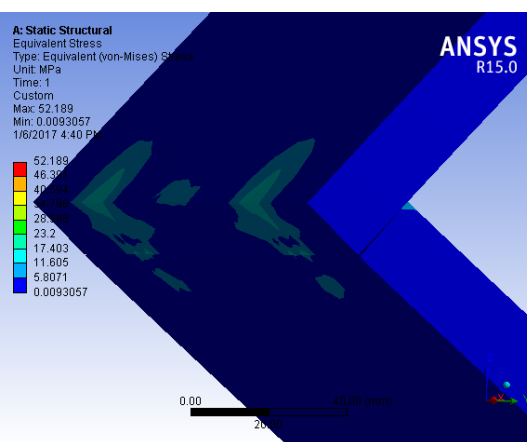
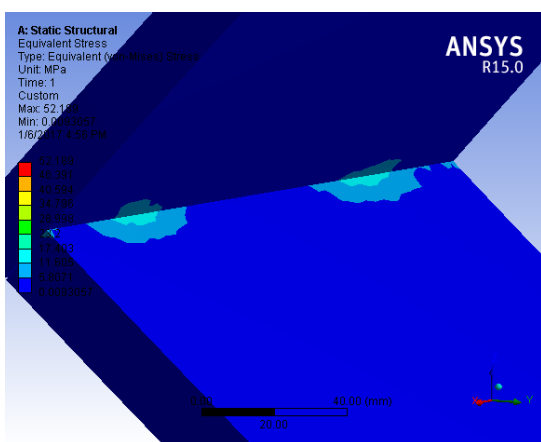
با توجه به نتایج به دست آمده در آزمون‌های تجربی، بیشترین ظرفیت لنگر خمشی اتصال با پین زیر بار فشاری برای مدل‌سازی با روش عناصر محدود در نظر گرفته شد. بیشترین میزان ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های آزمون شده اتصال مربوط به پین با عمق نفوذ ۱۷ و قطر ۸ میلی



شکل ۶- جدا شدن اعضای مدل اتصال زیر بار فشاری

به عبارت دیگر با افزایش قطر پین فاصله سوراخ پین با لبه اعضای اتصال کاهش یافته و در نتیجه در این ناحیه که دارای حداکثر تنش است باعث شکست اعضای اتصال می-شود. شکست اعضای اتصال در آزمون تجربی که در شکل ۹ نشان داده شده است می تواند گواه این استدلال باشد.

شکل ۸ نحوه توزیع تنش را در اتصال شبیه سازی شده نشان می دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می شود بیشترین تنش در محل اتصال پین با اعضای اتصال، در گوشه داخلی و خارجی اتصال بوده که این امر خود می-تواند عامل محدودکننده پین با قطر بیشتر باشد.



شکل ۸- جدا شدن اعضای اتصال L شکل زیر بار فشاری



شکل ۹- شکست اعضای اتصال L شکل زیر فشاری

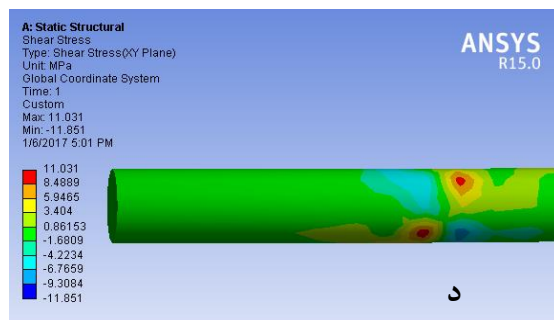
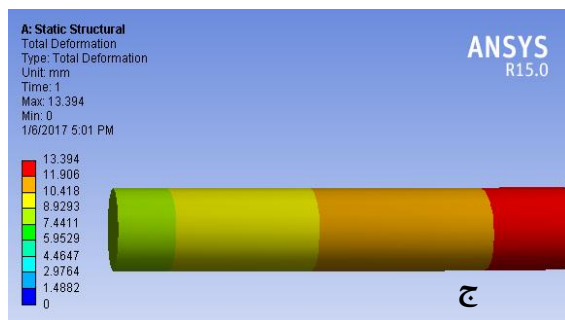
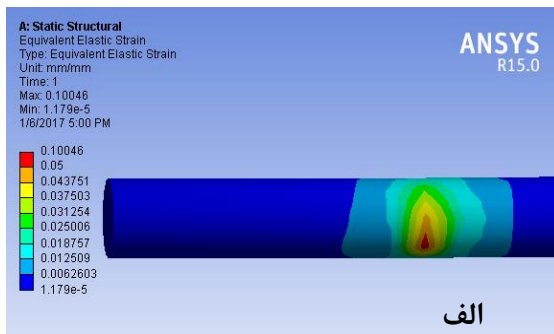
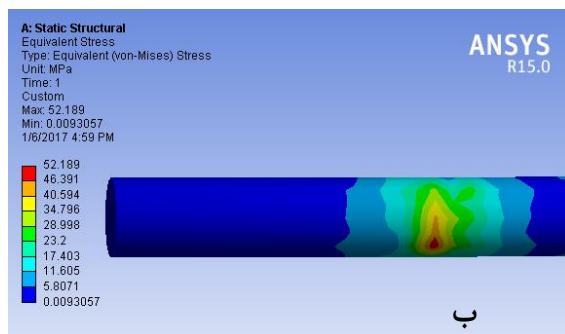
همان طور که مشخص است کرنش در خط چسب نسبت به پین چوبی بیشتر بوده است. علت این امر را می توان انعطاف پذیری چسب PVA عنوان کرد. همچنین بیشترین مقدار تغییر شکل در خط چسب همانند پین چوبی در قسمتی که خط چسب در عضو اصلی قرار گرفته است رخ داده است.

شکل ۱۰ نحوه توزیع تنش، کرنش تغییر شکل در پین چوبی و خط چسب را نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می شود حداکثر تنش ون میسز و کرنش، در لبه پایینی پین چوبی بوده است. حداکثر تنش برشی در لبه بالا و پایین پین چوبی مشاهده شد. همچنین مشاهده می شود که بیشترین تغییر شکل در قسمتی از پین که در عضو اصلی اتصال تعبیه شده است رخ داده است. در شکل مربوط به توزیع تنش و کرنش خط چسب مشاهده می-شود که حداکثر تنش وان مایسز، کرنش در محل اتصال بین دو عضو و در قسمت پایینی خط چسب بوده است.

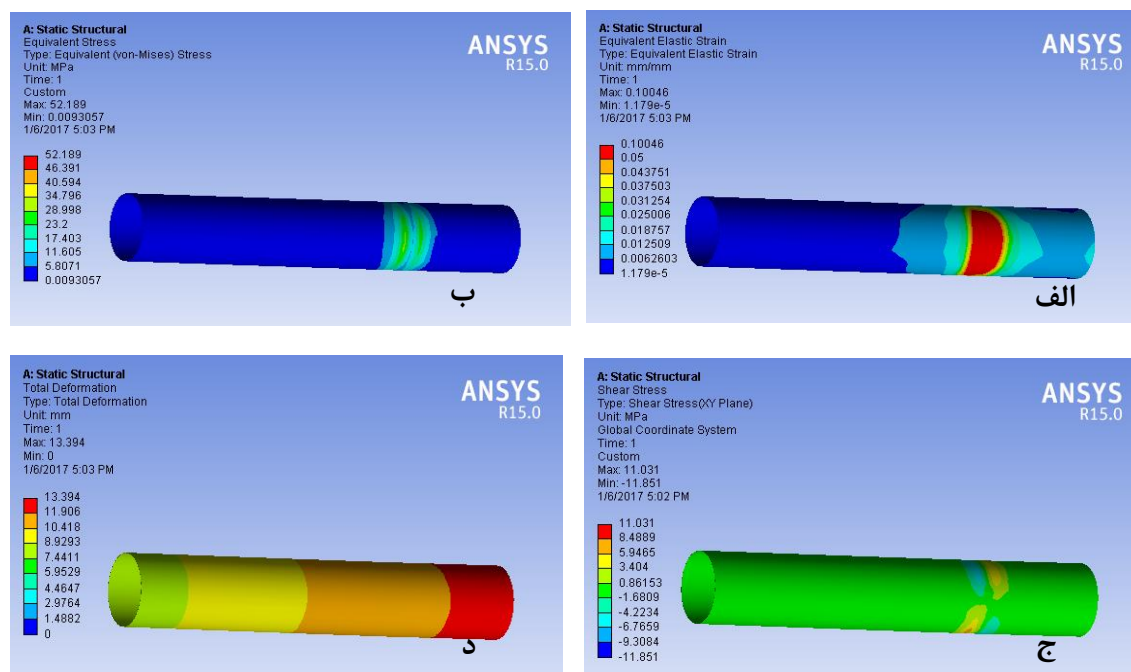
نتیجه گیری

در این مطالعه نحوه‌ی توزیع تنش-کرنش پین چوبی و خط چسب در اتصال مبلمان با روش اجزای محدود مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان دادند که افزایش قطر پین در حالتی که باعث کاهش بیش از حد لبه اعضای اتصال با سوراخ پین شود می‌تواند باعث شکست زودرس اعضای اتصال شود. همچنین ظرفیت لنگر خمشی با افزایش عمق نفوذ پین به واسطه افزایش سطح چسب خور افزایش یافت. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل توزیع تنش-کرنش در پین و خط چسب بیشترین مقادیر تنش و کرنش در محل اتصال بین اعضای اتصال مشاهده شد. حداکثر تنش وان مایسز و کرنش در پین و خط چسب در محل اتصال دو عضو و در قسمت پایینی پین و خط چسب مشاهده شد. بیشترین مقدار تغییر شکل در پین و خط

چسب در محل اتصال بین پین و خط چسب در عضو اصلی اتفاق افتاد. نتایج تحلیل توزیع تنش و کرنش با روش اجزای محدود در این مطالعه با نتایجی که Smardzewski و Papuga (۲۰۰۴) در اتصال کام و زبانه و اتصال پین به دست آورده‌اند همخوانی دارند. با توجه به تحلیل صورت گرفته، قسمت‌هایی از اتصال که تنش در آن متمرکز است، می‌تواند بخش‌های حساس به شکست باشند. با بررسی مشاهدات به دست آمده به خوبی می‌توان هماهنگی بین آزمون‌های تجربی و تحلیل اجزای محدود توزیع تنش-کرنش در اتصالات را اثبات کرد و می‌توان این روش را برای طراحی سازه مبلمان با ضریب اطمینان بالا و رعایت اصول مهندسی به طراحان سازه مبلمان پیشنهاد کرد.



(الف)



(ب)

شکل ۱۰- نحوه توزیع تنش- کرنش و تغییر شکل (الف) پین و (ب) خط چسب در اتصال زیر بار فشاری (الف) کرنش، (ب) تنش و میسز، (ج) تنش برش، (د) تغییر شکل

منابع

- [1] Ebrahimi, Gh., 2007. Engineering design of furniture structure. Tehran university publication, 491 pp. (In Persian).
- [2] Kazemi Najafi, S., Maleki, S., Ebrahimi, Gh., Ghofrani, M., 2017. Determination of withdrawal resistance of staple joints constructed with various members of upholstered furniture. Iranian journal of wood and paper industries, 8(1):95-108. (In persian).
- [3] Wang, Y. and Lee, S.H., 2014. Design and analysis on interference fit in the hardwood dowelglued joint by finite element method. Procedia Engineering, 79:166 – 172.
- [4] Ke, Q., Lin, L., Chen, S., Zhang, F. and Zhang, Y., 2016. Optimization of l-shaped corner dowel joint in pine using finite element analysis with taguchi method. Wood research, 61(2): 243-254.
- [5] Tankut, A.N. and Tankut, N., 2009. Investigations the effects of fastener, glue, and composite material types on the strength of corner joints in case-type furniture construction. Material & Design, 30(10): 4175-4182.
- [6] Tankut, A.N. and Tankut, N., 2010. Evaluation the effects of edge banding type and thickness on the strength of corner joints in case-type furniture construction. Material & Design, 31(6): 2956-2963.
- [7] Segovia, C., Renaud, A. and Pizzi, A., 2012 Performance of dowel-welded L-joints for wood furniture. Journal of Adhesion Science and Technology, 25(15): 1829-1837.
- [8] Oktæe, J., Ebrahimi, G., Layeghi, M., Ghofrani, M. and Eckelman, C.A., 2014. Bending moment capacity of simple and haunched mortise and tenon furniture joints under tension and compression loads. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 38(2): 291-297.
- [9] Kasal, A., 2006. Determination of the strength of various sofa frames with finite element analysis. Gazi University Journal Science, 19(4): 191-203.

- [10] Smardzewski, J. and Papuga, T., 2004. Stress distribution angle joints of skeleton furniture. Electronic. Journal of Polish Agricultural Universities. Wood Technology, 7(1).
- [11] Eckelman, C.A. and Rabiej, R., 1984. A comprehensive method of analysis of case furniture. Forest Products Journal, 35(4): 62-68.
- [12] Cai, L.P. and Wang, F.H., 1993. Influence of the stiffness of corner joint on case furniture deflection. Holz als Roh und Werkstoff, 51(6): 406-408.
- [13] Smardzewski, J., 1998. Numerical analysis of furniture constructions. Wood Science and Technology, 32(4): 273-286.
- [14] Colakoglu, M.H. and Apay, A.C., 2012: Finite element analysis of wooden chair strength in free drop. International Journal of Physical Sciences 7(7): 1105-1114.

Analysis of stress- strain distribution of dowel and glue line in L-type furniture joint by means of finite element method

Abstract

In this study, 3D stress-strain distribution of dowel and glue line on L-type joints made of plywood doweled was investigated. Members of joints were made of 11-ply hardwood plywood (hornbeam, beech and alder) that were 19 mm in thickness. In this study, effect of beech dowels was investigated in three level diameters (6, 8 and 10 mm) and penetration of depth (9, 13 and 17 mm) on bending moment capacity of L-type joints under compression loading as experimental test; then, stress-strain distribution of wood dowel and glue line in specimens were simulated by means of ANSYS 15 software with finite element method (FEM). Results showed that the bending moment resistance increased with increasing dowel diameter from 6 to 8 mm, but downward trend was observed with increasing 8 to 10 mm in dowel diameter. Bending moment resistance increased with increasing penetration depth. Also, simulation by ANSYS software showed that stress-strain in dowel and glue line increased with increasing diameter of dowel and this increased stress in joints made of 10 mm dowel decreased the resistance due to fracture in joints. According to results obtained of model analysis, the ultimate stress of dowel and glue line occurred in the areas in which joints were contacted.

Keywords: stress, strain, wood dowel, L-type joints, finite element method.

M. Dalvand¹
P. Moradpour^{2*}

¹ PhD Student, Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

² Assistance Professor, Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:
pmoradpour@ut.ac.ir

Received: 2017/04/23
Accepted: 2017/07/09