

بررسی تأثیر ضخامت شانهای بالای کام بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال کام و زبانه سیار

محمد دریکوند^{*}، آقنبر ابراهیمی^۳، کارل آلبرت اکلمن

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، آستاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

^۳آستاد علوم چوب، دانشکده جنگل و منابع طبیعی، دانشگاه پوردو، آمریکا

چکیده:

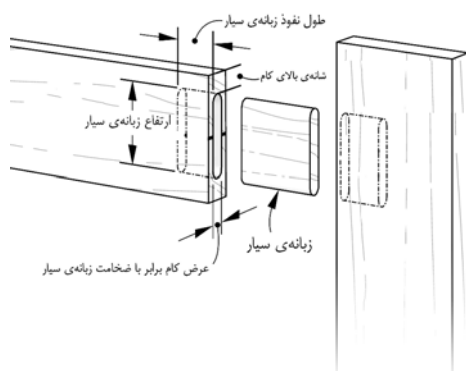
در این تحقیق تأثیر ضخامت شانهای بالای کام در پنج اندازه‌ی ۱/۵، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۱۸/۵ میلی‌متر، طول نفوذ زبانه‌ی سیار در اندازه‌های ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ میلی‌متر و ارتفاع زبانه‌ی سیار نیز در پنج اندازه‌ی ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ میلی‌متر بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال کام و زبانه سیار بررسی شده‌است. همچنین به منظور بررسی تأثیر گونه‌ی چوب مورد استفاده برای ساخت زبانه‌ی سیار بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال از چوب گونه‌های راش، گردو، بلوط، چنار، صنوبر و نراد استفاده شده‌است. با در نظر گرفتن ۵ تکرار برای هر تیمار در مجموع ۱۰۰ اتصال T شکل با روشی یکسان و با استفاده از چسب پلی‌وینیل استات (PVAc) ساخته شد و مورد آزمایش قرار گرفت. بنابر نتایج، با افزایش ضخامت شانهای بالای کام از ۱/۵ تا ۱۸/۵ میلی‌متر میانگین ظرفیت لنگر خمشی به طور پیوسته به میزان ۵۰ درصد کاهش یافته‌است. با افزایش طول نفوذ زبانه‌ی سیار از ۱۵ تا ۳۰ میلی‌متر ظرفیت لنگر خمشی افزایش و از ۳۰ تا ۳۵ میلی‌متر به دلیل افزایش همزمان ضخامت شان زبانه‌ی سیار بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال کاهش یافته‌است. ارتفاع زبانه‌ی سیار تأثیر ویژه‌ای بر ظرفیت لنگر اتصال از خود نشان داد به گونه‌ای که با افزایش ارتفاع زبانه‌ی سیار بر ظرفیت لنگر اتصال به طور پیوسته افزایش پیدا کرده‌است. تأثیر گونه‌ی چوب مورد استفاده برای ساخت زبانه‌ی سیار بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال معنی‌دار بوده و زبانه‌ی ساخته شده از چوب راش بیشترین ظرفیت لنگر خمشی را از خود نشان داده‌است.

واژه گان کلیدی: شانهای بالای کام، اتصال کام و زبانه سیار، ظرفیت لنگر خمشی، چسب پلی وینیل استات

* مسئول مکاتبات: E-mail: m.derikvand@ut.ac.ir

مقدمه

ظرفیت لنگر خمشی در این نوع اتصال به طول و ارتفاع زبانه و مقاومت برشی موازی الیاف چوب مورد استفاده بستگی دارد [۴]. ویسی و همکاران (۱۳۸۹) تأثیر ارتفاع و ضخامت زبانه را بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های کام و زبانه ساخته شده از چوب راش و مرمر بررسی کردند. بر پایه نتایج به دست آمده از بررسی این محققان، بیشترین میانگین ظرفیت لنگر خمشی در اتصالات اتصال‌های ساخته شده با گونه مرمر و با ارتفاع زبانه ۵ سانتی متر و پهنای شانه ۰/۲۵ سانتی متر ایجاد می‌شود. این محققان همچنین یک معادله تجربی را برای پیش‌بینی بیشینه ظرفیت لنگر خمشی پیشنهاد کردند [۵]. بهمنی و همکاران (۱۳۸۸) نیروی اتصال با دبل چوبی (پین) را در تخته فیبر با چگالی متوسط (MDF) بررسی کرده‌اند. آنان معادله‌ی تجربی $W=2D^{0.8}L^{0.69}(IB)^{2.3}$ را برای پیش‌بینی نیروی انفصال اتصال با پین چوبی پیشنهاد کردند [۶]. یکی از انواع اتصال‌های پرکاربرد در ساخت سازه‌های چوبی اتصال کام و زبانه سیار است (شکل ۱) که با وجود برتری‌های فراوان نسبت به دیگر انواع اتصال‌های مورد استفاده، متاسفانه تاکنون جایگاه مناسبی در صنعت مبلمان ایران پیدا نکرده است.



شکل ۱- اتصال کام و زبانه سیار مورد بررسی و چگونگی قرارگیری زبانه در کامها

در ساخت اتصال کام و زبانه سیار، کام کنی در هر دو عضو اتصالی صورت می‌گیرد و سپس زبانه‌ی سیار هم اندازه و همانند در کام‌های تعبیه شده در اعضای اتصال قرار می‌گیرد [۱]. تا کنون تنها یک بررسی معتبر در کشور در زمینه عامل‌های اثرگذار بر مقاومت این اتصال صورت گرفته است که در آن دریکوند و همکاران (۱۳۹۱)

شاید بتوان با اطمینان این مسئله را بیان کرد که طراحی مناسب گام اصلی در کل فرآیند تولید مبلمان است [۱]. از آنجایی که بیشتر آسیب در مبلمان از زوال و شکست اتصال‌ها آغاز می‌شود، طراح مبلمان باید در کنار تسلط بر عامل‌هایی چون اصول زیبایی شناختی و ارگونومیک محصول، در جهت افزایش استحکام سازه مبلمان اطلاعات کافی در ارتباط با نوع اتصالی که مورد استفاده قرار می‌دهد داشته باشد. مبلمان چوبی علاوه بر پیروی از اصول ارگونومیک و زیبایی در طراحی، باید دوام و طول عمر مناسبی داشته باشد که لازمه‌ی آن به کارگیری اتصال و اتصال دهنده‌هایی با مقاومت مشخص و قابل ارزیابی است. بسیاری از کارخانه‌ها و کارگاه‌های تولیدی سازه‌های چوبی به صورت کلیشه‌ای و سنتی اقدام به ساخت سازه‌ی مبلمان می‌کنند در حالی که بسیاری از محصولات تولیدی آن‌ها بدون استانداردهای مقاومتی لازم هستند. دلیل این مسئله کم‌(بی) توجهی و یا شناخت عامل‌های اثرگذار بر مقاومت سازه است. با توجه به جایگاه ویژه‌ی صنعت مبلمان در این دوران و در جهت رفع نواقص موجود در طراحی و ساخت، تا به امروز تحقیقات مختلفی در زمینه اتصال‌های مورد استفاده در صنعت مبلمان صورت گرفته‌است که بیشتر آن‌ها حاوی اطلاعاتی سودمند و کاربردی هستند.

Denizli و Tankut (۲۰۰۴) تأثیر شکل هندسی و ابعاد زبانه را بر مقاومت خمشی اتصال کام و زبانه مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که با افزایش طول نفوذ و ارتفاع زبانه ظرفیت لنگر خمشی اتصال کام و زبانه افزایش می‌یابد. این محققان همچنین دریافتند که اتصال کام و زبانه مستطیل شکل ۱۵ درصد ظرفیت لنگر خمشی بیش‌تری بیشتری نسبت به اتصال کام و زبانه با لبه‌های گرد دارد [۲].

Eckelman و همکاران (۲۰۰۴) مقاومت به لنگر خمشی اتصال کام و زبانه‌ی گرد را بررسی کرده‌اند و دریافتند که اگر شانه‌ی اتصال در تماس کامل با لبه‌ی عضو عمودی اتصال باشد بیشترین ظرفیت لنگر خمشی ایجاد خواهد شد [۳]. Eckelman و Hill (۱۹۷۳) تأثیر ابعاد زبانه و اعضای اتصال را بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال کام و زبانه بررسی کرده‌اند. نتایج تحقیق محققان نشان داد که

افقی و عمودی در اتصال‌های T شکل ساخته شده $2 \times 5 \times 20$ (ضخامت \times عرض \times طول) سانتی‌متر گزینش شد [۷]. در مرحله ساخت اتصال‌های آزمونی، در آغاز با استفاده از دستگاه فرز دستی و قالب کام کنی^۱ [۸] در انتهای عضو افقی و مرکز عضو عمودی، کام با عرض ۸ میلی‌متر تعبیه شد. سپس زبانه‌ی سیار با لبه‌های گرد، سطح صاف و ضخامت $7/8$ میلی‌متر با استفاده از اره گرد و دستگاه فرز ثابت تهیه شد. بنا بر تحقیق دریکوند و همکاران (۱۳۹۱)، مقاوم‌ترین اتصال کام و زبانه سیار در حالتی ایجاد می‌شود که اندازه‌ی ضخامت درز چسب خوری $0/1$ میلی‌متر باشد [۱]، از این رو، در این بررسی ضخامت زبانه‌ی سیار $0/2$ میلی‌متر کم‌تر از عرض کام در نظر گرفته شده‌است تا بتوان در سطوح کناری زبانه ضخامت درز چسب خوری $0/1$ میلی‌متر را ایجاد کرد. همچنین از آنجایی که طول نفوذ زبانه‌ی سیار در عضو افقی اتصال به عنوان متغیر گزینش شد، اندازه‌ی طول نفوذ زبانه در عضو عمودی برای همه‌ی اتصال‌های آزمونی ثابت و برابر با ۳۸ میلی‌متر در نظر گرفته شده‌است. به منظور بررسی اثر گونه‌ی چوب مورد استفاده برای ساخت زبانه‌ی سیار بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال، علاوه بر راش از ۵ گونه‌ی چوبی پرکاربرد شامل گردو، بلوط، چنار، صنوبر و نراد استفاده شده‌است. جهت الیاف در اعضای اتصال در راستای طول آن‌ها بوده و در همه اتصال‌های آزمونی یکسان در نظر گرفته شده‌است. متغیرها و تیمارهای اصلی در این بررسی در جدول ۱ درج شده‌اند. پیش از مرحله‌ی چسب زنی اتصال‌های آزمونی، برای کاهش خطای ناشی از نوسان مقدار چسب استفاده شده و اطمینان از این که مقدار چسب مصرف شده در اتصال‌ها به طور یکسان حفظ می‌شود، یک قطعه‌ی مستطیل شکل از کاغذ مومی^۲ با ابعاد 4×10 سانتی‌متر تهیه و در محل کام‌های ایجاد شده تعبیه شد [۱، ۹]. سطوح زبانه و سطوح درونی کام‌های ایجاد شده با دقت به طور کامل به چسب پلی وینیل استات (PVAC) آغشته شده و عمل مونتاژ انجام شده‌است. سپس با استفاده از گیره‌های نجاری هر دو عضو افقی و عمودی اتصال به مدت ۲۴ ساعت تحت فشار قرار گرفتند تا چسب به طور کامل خشک شود [۱۰].

اثرگذاری شکل هندسی و ارتفاع زبانه و ضخامت درز چسب خوری را بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال کام و زبانه‌ی سیار مورد بررسی قرار داده‌اند. این محققان دریافتند که مناسب‌ترین شکل زبانه برای ساخت این اتصال زبانه‌ای با سطح صاف و لبه‌های گرد است. همچنین آنان ثابت کرده‌اند که عملکرد مقاومتی این اتصال به شدت به اندازه‌ی ضخامت درز چسب خوری وابسته است، به طوری که با افزایش ضخامت درز چسب خوری از $0/1$ تا $0/4$ میلی‌متر مقاومت خمشی اتصال ۲۲ تا ۴۰ درصد کاهش می‌یابد [۱]. همچنین بنا بر تحقیقی که Aman و همکاران در سال ۲۰۰۸ انجام داده‌اند، ظرفیت لنگر خمشی اتصال کام و زبانه سیار از اتصال با پین بیشتر بوده و در مقایسه با اتصال کام و زبانه مقاومت کمتری دارد [۷]. کاهش ضایعات و دور ریز چوب، صرفه‌جویی در مصرف چوب ماسیو با کاهش محدودیت ابعاد لازم، بی‌نیازی به استفاده از ماشین‌های اضافی برای ساخت زبانه و به واسطه‌ی آن کاهش زمان ساخت و کاهش استهلاک ماشین‌های مورد استفاده برای ساخت اتصال‌ها از جمله مهم‌ترین برتری‌های اتصال کام و زبانه سیار در مقایسه با اتصال کام و زبانه‌ی سنتی است. با وجود برتری‌های یاد شده و بازده اقتصادی مناسب اتصال کام و زبانه سیار، تاکنون تحقیقات جامعی در مورد عملکرد مقاومتی این اتصال صورت نگرفته‌است. بر این پایه، این تحقیق در جهت بررسی برخی از عامل‌های اثرگذار بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال کام و زبانه سیار شامل ضخامت شانه‌ی بالای کام (فاصله بین لبه‌ای که روی آن بار اعمال می‌شود تا نزدیک‌ترین لبه‌ی زبانه)، طول نفوذ و ارتفاع زبانه‌ی سیار و گونه‌ی چوب مورد استفاده برای ساخت زبانه‌ی سیار، به منظور دستیابی به مناسب‌ترین حالت از متغیرهای یاد شده در جهت افزایش بازده این اتصال، انجام شده‌است.

مواد و روش‌ها

از آنجایی که گونه‌ی راش (*Fagus orientalis* L.) یکی از پر مصرف‌ترین گونه‌های مورد استفاده در صنعت مبلمان ایران است، چوب مورد نیاز برای ساخت زبانه و دیگر اعضای اتصال‌های آزمونی در این بررسی از چوب گونه‌ی راش و از میان الوارهای راست تار که بدون هرگونه کاستی رشد بودند تهیه شده‌است. همچنین، ابعاد اعضای

¹ -Mortising jig

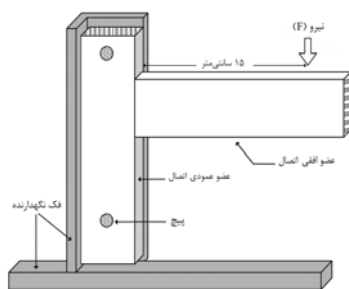
² -Wax paper

جدول ۱- ترکیب متغیرها و تیمارهای اصلی در این تحقیق

شماره‌ی تیمار*	ضخامت شانه بالای کام (mm)	طول نفوذ زبانه (mm)	ارتفاع مقطع زبانه (mm)	گونه‌ی چوب زبانه
۱	۱/۵	۲۵	۳۰	راش
۲	۵	۲۵	۳۰	»
۳	۱۰	۲۵	۳۰	»
۴	۱۵	۲۵	۳۰	»
۵	۱۸/۵	۲۵	۳۰	»
۶	۱/۵	۱۵	۳۰	راش
۷	»	۲۰	»	»
۸	»	۲۵	»	»
۹	۵	۳۰	»	»
۱۰	۱۰	۳۵	»	»
۱۱	۱۵	۲۵	۲۰	راش
۱۲	۱۲/۵	»	۲۵	»
۱۳	۱۰	»	۳۰	»
۱۴	۷/۵	۳۰	۳۵	»
۱۵	۵	۳۵	۴۰	»
۱۶	۱۰	۲۵	۳۰	نراد
۱۷	»	»	»	گردو
۱۸	»	»	»	صنوبر
۱۹	»	»	»	چنار
۲۰	»	»	»	بلوط

تیمارهای شماره ۳ و ۱۳، همچنین تیمارهای شماره ۱ و ۸ از نظر ابعاد زبانه و اعضای اتصال یکسان هستند اما در هر بخش به منظور بررسی تأثیر مستقل و متقابل متغیرهای مورد بررسی به صورت جداگانه تهیه و آزمایش شده‌اند

فولاد (شکل ۲) به دستگاه آزمون بسته شده و ثابت نگهداشته شدند.



شکل ۲- نحوه‌ی بارگذاری اتصالات آزمون

سیس، اتصالات آزمون به مدت ۴ هفته در اتاق مشروط‌سازی با شرایط دمایی ۲۲ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۵ درصد نگهداری شدند تا محتوای رطوبتی یکسان در اتصالات آزمون ایجاد شود [۱، ۳، ۱۱، ۱۳]. با در نظر گرفتن ۵ تکرار برای هر یک از تیمارهای درج شده در جدول ۱، در مجموع ۱۰۰ اتصال T شکل ساخته شد. از ماشین آزمایش اینسترون^۳ مدل ۴۴۸۶ برای بررسی ظرفیت لنگر خمشی اتصالات استفاده شده‌است. نمونه‌های آزمون با فک ساخته شده از آلیاژ

³ -Instron

نتایج و بحث

مقادیر میانگین ظرفیت لنگر خمشی اتصال در سطوح مختلف از متغیرهای طول نفوذ و ارتفاع زبانه‌ی سیار، ضخامت شانه‌ی اتصال و گونه‌ی چوب مورد استفاده برای ساخت زبانه‌ی سیار در جدول ۲ ارائه شده‌است. نتایج تجزیه واریانس تأثیر مستقل و متقابل متغیرهای مورد بررسی و آزمون دانکن برای گروه‌بندی میانگین‌های ظرفیت لنگر خمشی اتصال برای هر متغیر در شکل‌های ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ آمده‌است.

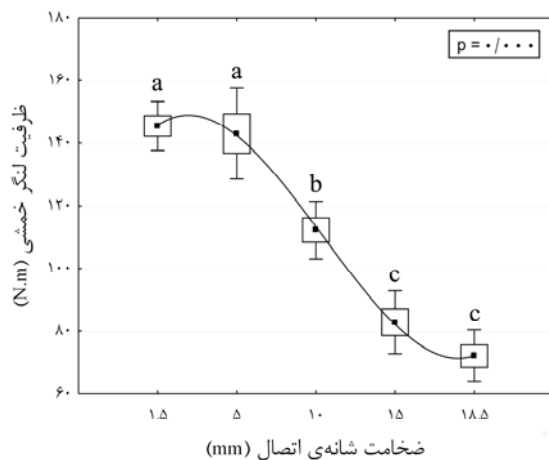
سرعت بارگذاری نمونه‌ها ۵ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم شد [۴،۷]. نقطه اثر بار تا محل اتصال (L) ۱۵ سانتی‌متر فاصله داشت [۷]. بیشینه ظرفیت لنگر خمشی هر اتصال، M، با استفاده از فرمول ۱ محاسبه شد:

$$M (N.m) = F (N) \times L (m) \quad (1)$$

که در آن F، بیشینه بار اعمال شده برای هر اتصال می‌باشد. توزیع تصادفی مشاهده‌های به‌دست آمده در این تحقیق توسط نرم افزار آماری SPSS بررسی و پس از آن مورد تحلیل قرار گرفتند

جدول ۲- مقادیر میانگین و انحراف معیار ظرفیت لنگر خمشی اتصال

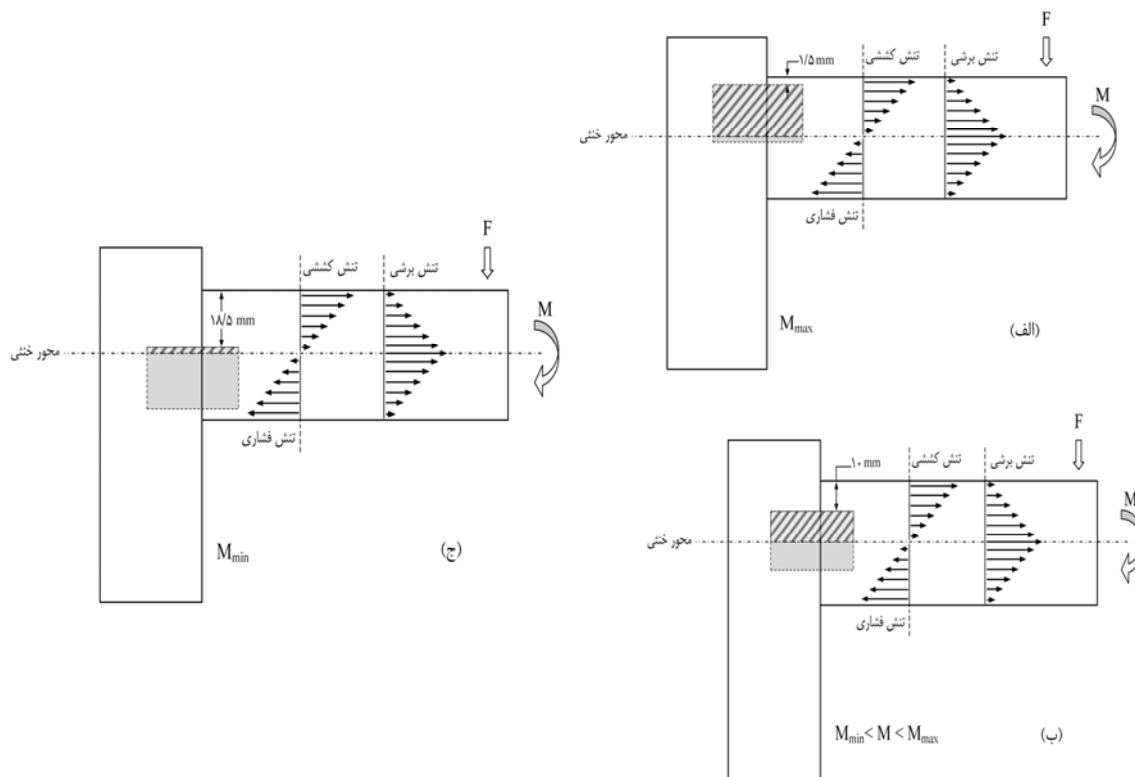
ضخامت شانه بالای کام (mm)	طول نفوذ زبانه (mm)	ارتفاع زبانه (mm)	گونه‌ی چوب زبانه	میانگین ظرفیت لنگر خمشی (N.m)
۱/۵	۲۵	۳۰	راش	۱۴۵/۴۸ ± ۷/۸۲
۵	۲۵	۳۰	راش	۱۴۳/۰۶ ± ۱۴/۴۹
۱۰	۲۵	۳۰	راش	۱۱۲/۲۸ ± ۹/۱۴
۱۵	۲۵	۳۰	راش	۸۲/۸۹ ± ۱۰/۰۱
۱۸/۵	۲۵	۳۰	راش	۷۲/۱۴ ± ۸/۲۴
۱/۵	۱۵	۳۰	راش	۷۷/۴۵ ± ۱۲/۷۶
۲۰	۲۰	۳۰	راش	۱۰۰/۸۰ ± ۶/۱۶
۲۵	۲۵	۳۰	راش	۱۴۶/۳۹ ± ۱۰/۷۲
۳۰	۳۰	۳۰	راش	۱۵۰/۸۱ ± ۱۸/۴۶
۳۵	۳۵	۳۰	راش	۱۴۴/۷۵ ± ۵/۷۱
۱۵	۲۵	۲۰	راش	۷۹/۷۴ ± ۶/۸۵
۱۲/۵	۲۵	۲۵	راش	۹۲/۷۵ ± ۷/۳۱
۱۰	۲۵	۳۰	راش	۱۱۳/۵۲ ± ۸/۷۴
۷/۵	۳۰	۳۵	راش	۱۴۰/۱۴ ± ۸/۲۴
۵	۳۵	۴۰	راش	۱۶۵/۲۲ ± ۱۴/۵۸
۱۰	۲۵	۳۰	نراد	۹۰/۴۶ ± ۱۰/۳۰
۲۰	۲۵	۳۰	گردو	۱۱۱/۳۳ ± ۹/۵۹
۲۰	۲۵	۳۰	صنوبر	۹۴/۴۵ ± ۷/۰۰
۲۰	۲۵	۳۰	چنار	۹۹/۲۶ ± ۸/۰۲
۲۰	۲۵	۳۰	بلوط	۱۰۲/۱۹ ± ۸/۴۷



شکل ۳- تأثیر مستقل ضخامت شانه بالای کام بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال

بر پایه شکل ۳، تأثیر ضخامت شانه‌ی بالای کام بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار بوده‌است. با افزایش ضخامت شانه‌ی بالای کام از ۱/۵ تا ۱۸/۵ میلیمتر میانگین ظرفیت لنگر خمشی اتصال به طور پیوسته تا ۵۰ درصد کاهش یافته‌است.

اتصال‌های ساخته شده با ضخامت شانه‌ی ۱/۵ میلیمتر بیشترین مقدار میانگین ظرفیت لنگر خمشی (N.m) ۱۴۵/۴۸ را از خود نشان دادند. همان‌گونه که در شکل ۴ به وضوح می‌توان دید، شکست اتصال در اثر نیروی کششی به وجود آمده از لنگر و با جدا شدن عضو افقی از عضو عمودی در بخش بالایی اتصال آغاز شده و به تدریج تداوم بار باعث شکست کامل اتصال می‌شود. بنا بر نتایج به دست آمده (شکل ۳)، هرچه زبانه‌ی سیار از محور خنثی (مرکز عضو افقی) به سمت بخشی که تحت تنش کششی قرار دارد حرکت کند، ظرفیت لنگر خمشی اتصال افزایش می‌یابد.



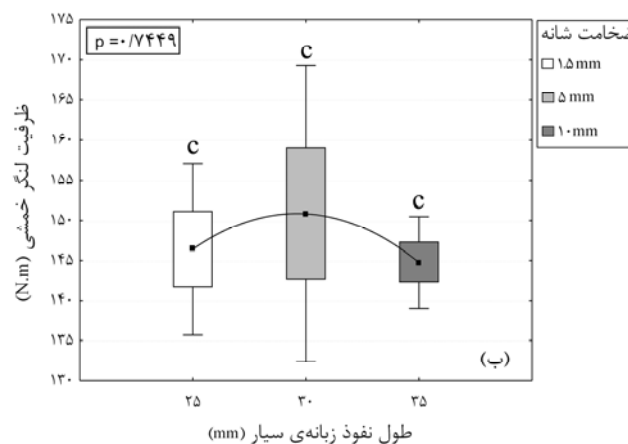
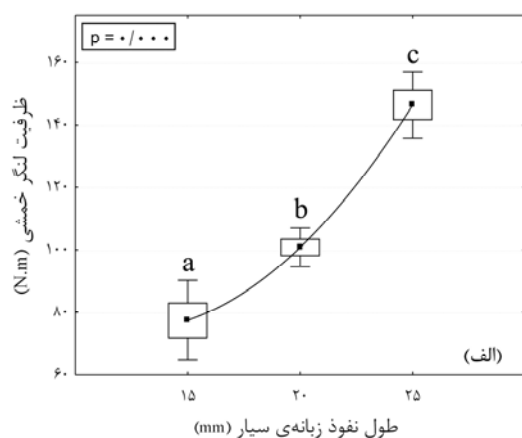
شکل ۴- دیاگرام توزیع تنش در عضو افقی اتصال با ضخامت شانه‌ی ۱/۵، ۱۰ و ۱۸/۵ میلی‌متر

معنی‌دار بوده‌است. با افزایش طول نفوذ زبانه از ۱۵ تا ۲۵ میلی‌متر، به دلیل افزایش گستره سطح درگیر زبانه در اعضای اتصال، ظرفیت لنگر خمشی اتصال به میزان ۷۳ درصد افزایش یافته‌است، که نتایج آن با نتایج Tankut و Denizli (۲۰۰۴) در ارتباط با تأثیر طول نفوذ زبانه بر مقاومت خمشی اتصال کام و زبانه سازگاری دارد [۲].

با توجه به شکل ۵-ب اثر متقابل افزایش طول نفوذ زبانه-ی سیار و ضخامت شانه‌ی بالای کام بر ظرفیت لنگر خمشی معنی‌دار نبوده‌است. شکل ۵-ب به خوبی تاثیر ویژه‌ی اندازه‌ی ضخامت شانه را بر ظرفیت لنگر اتصال اثبات می‌کند. هرچند با افزایش طول نفوذ زبانه گستره سطح چسب خوری افزایش می‌یابد اما تأثیر منفی افزایش همزمان ضخامت شانه‌ی بالای کام از ۱/۵ تا ۱۰ میلی‌متر، تأثیر افزایش طول نفوذ زبانه را خنثی کرده و باعث کاهش ظرفیت لنگر خمشی اتصال شده‌است.

در این حالت، زبانه در حساس‌ترین بخش اتصال واقع می‌شود و در برابر شکست مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد. با مراجعه به دیاگرام آزاد محل اتصال با زبانه‌ی سیار تحت لنگر خمشی (شکل ۴)، که زیر تنش خمشی و برشی قرار دارد، دیده می‌شود که با پایین آوردن زبانه‌ی سیار به طرف لبه‌ی پایین اتصال، سطح چسب خورده‌ی بین اعضای اتصال با زبانه‌ی سیار نسبت به محل محور خنثی کم می‌شود (قسمت‌های هاشور خورده‌ی زبانه در شکل ۴)، در حالی که تنش برشی به مقدار بیشینه خود در محل محور خنثی نزدیک می‌شود و با تأثیر تنش کششی ناشی از خمش همسویی پیدا می‌کند و به همین دلیل با زیاد شدن ضخامت شانه‌ی بالای کام در اتصال استحکام خمشی کاهش می‌یابد.

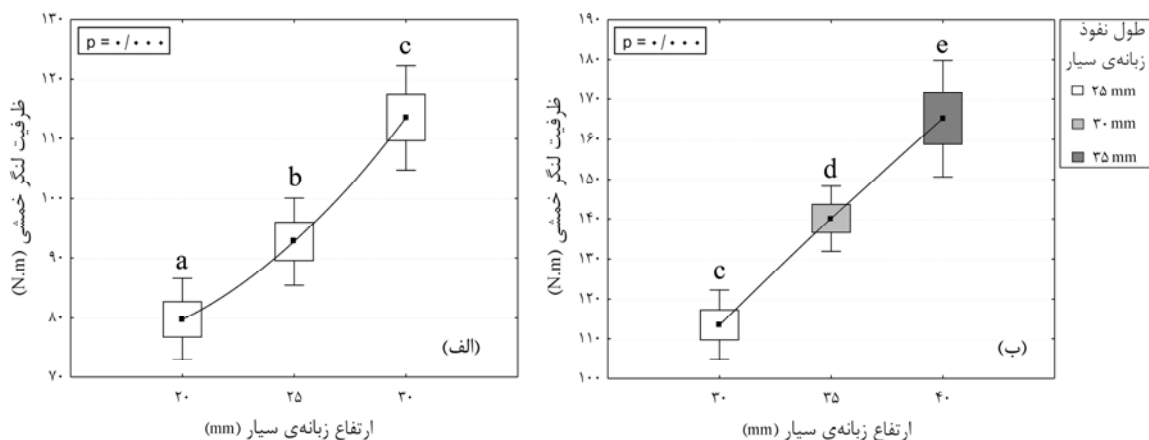
بر پایه شکل ۵-الف، تأثیر طول نفوذ زبانه‌ی سیار بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال در سطح اعتماد ۹۹ درصد



شکل ۵-الف): تأثیر مستقل افزایش طول نفوذ زبانه بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال، (ب): اثر متقابل افزایش طول نفوذ زبانه و ضخامت شانه‌ی بالای کام بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال

شکل ۶-الف بیانگر معنی‌دار بودن تأثیر افزایش ارتفاع زبانه‌ی سیار بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال در سطح اعتماد ۹۹ درصد می‌باشد. با افزایش ارتفاع زبانه‌ی سیار از ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر ظرفیت لنگر خمشی ۳۲/۶ درصد افزایش یافته‌است. شکل ۶-ب نیز نشان می‌دهد که تأثیر متقابل افزایش ارتفاع و طول نفوذ زبانه‌ی سیار بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال معنی‌دار نبوده‌است.

با افزایش همزمان ارتفاع و طول نفوذ زبانه‌ی سیار، ظرفیت لنگر خمشی اتصال ۴۷ درصد افزایش نشان می‌دهد. نتایج این بخش از آزمایش‌ها با نتایج به دست آمده از تحقیق Eckelman و Hill (۱۹۷۳) روی اتصال کام و زبانه همخوانی دارد [۴].



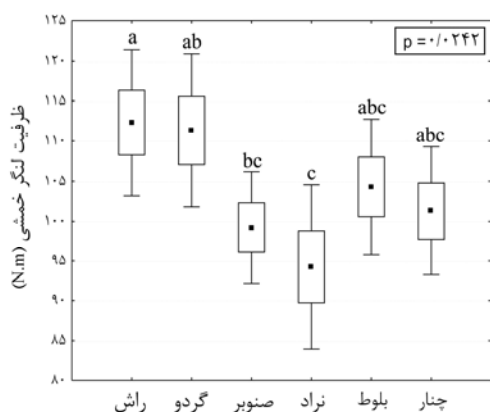
شکل ۶- (الف): تأثیر مستقل افزایش ارتفاع زبانه بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال ، (ب): اثر متقابل افزایش ارتفاع و طول نفوذ زبانه بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال

برای ساخت زبانه‌ی مورد نیاز در این اتصال می‌توان از قطعه‌های کوچک چوبی که در بیشتر کارگاه‌ها به عنوان دورریز وجود دارد نیز استفاده کرد. کارخانه‌ها و کارگاه‌های تولیدی در زمینه‌ی مبلمان می‌توانند با تغییرات جزئی در طراحی اتصال‌ها و نوع ماده‌ی چوبی مورد استفاده به سازه‌ای بسیار مقاوم‌تر دست یابند. گواه این ادعا بخشی از نتایج در این تحقیق است که حتی تغییر میلیمتری در ضخامت شانه‌ی بالای کام باعث کاهش چشمگیر مقاومت به لنگر خمشی اتصال شده‌است.

بر پایه شکل ۷ اثر گونه‌ی چوب مورد استفاده برای ساخت زبانه‌ی سیار بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار بوده‌است. بر پایه شکل، اتصال‌هایی که در آن‌ها از چوب گونه‌های راش و گردو برای ساخت زبانه استفاده شده‌است بیشترین ظرفیت لنگر خمشی و اتصالات ساخته شده با زبانه‌هایی از چوب گونه‌های نراد و صنوبر کمترین ظرفیت لنگر خمشی را از خود نشان داده‌اند. اختلاف در تخلل و مقاومت برشی گونه‌های مختلف عامل‌های اصلی اختلاف در ظرفیت لنگر خمشی اتصالات آزمونی هستند. با افزایش میزان تخلل، چگالی چوب کاهش پیدا می‌کند و نفوذ بیشتر چسب در خلل و فرج چوب باعث گرسنگی لایه چسب در محل اتصال می‌شود، در نتیجه کیفیت چسبندگی چسب PVAC در سطوح زبانه کاهش یافته و در نهایت باعث کاهش ظرفیت لنگر خمشی اتصال می‌شود [۹].

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از این تحقیق به خوبی اهمیت دقت در طراحی و اجرای عامل‌های موثر بر مقاومت اتصال‌های مورد استفاده در صنعت مبلمان را اثبات می‌کنند. در ساخت سازه‌های چوبی که در آنها مقاومت خمشی بالا نیاز باشد بیشتر از اتصال کام و زبانه یا اتصال دوبل (پین چوبی) استفاده می‌شود در حالی که اتصال کام و زبانه‌ی سیار بسیار ساده‌تر ساخته می‌شود و دارای مقاومت خمشی در حد اتصال کام و زبانه است [۱، ۷]. همچنین



شکل ۷- تأثیر مستقل گونه‌ی چوب مورد استفاده برای ساخت زبانه‌ی سیار بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال

شانه‌ی ۵ میلی‌متر را برای ساخت این اتصال پیشنهاد کرد.

۲- با افزایش طول نفوذ زبانه‌ی سیار ظرفیت لنگر خمشی اتصال افزایش می‌یابد اما افزایش همزمان ضخامت شانه‌ی بالای کام تأثیر افزایش طول نفوذ زبانه را خنثی کرده و باعث کاهش ظرفیت لنگر اتصال می‌شود.

۳- با افزایش ارتفاع زبانه‌ی سیار ظرفیت لنگر خمشی اتصال افزایش می‌یابد و افزایش همزمان طول نفوذ زبانه‌ی سیار باعث تشدید آن می‌شود. با این حال، افزایش بیش از حد ارتفاع زبانه، به دلیل کاهش ضخامت شانه، ممکن است باعث شکست زود هنگام اتصال شود. بنابراین ارتفاع زبانه را باید به گونه‌ای گزینش کرد که منجر به کاهش بیش از حد ضخامت شانه نشود.

۴- گونه‌ی مورد استفاده برای ساخت زبانه‌ی سیار تأثیر معنی‌داری بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال دارد. گونه‌ی راش با سطحی صاف و مقاومت برشی موازی الیاف بالا مناسب‌ترین چوب را برای ساخت زبانه سیار داراست.

به طور کلی می‌توان موارد زیر را به‌عنوان نتیجه‌گیری در این تحقیق برشمرد:

۱- افزایش ضخامت شانه‌ی بالای کام (فاصله‌ی لبه-ای از عضو افقی که بار روی آن اعمال می‌شود تا نزدیک‌ترین لبه‌ی زبانه) باعث کاهش معنی‌دار ظرفیت لنگر خمشی اتصال می‌شود. بر پایه نتایج به دست آمده، بیشترین مقدار میانگین ظرفیت لنگر خمشی در ضخامت شانه‌ی ۱/۵ و ۵ میلی‌متر مشاهده شده است. با توجه به مشاهده‌های تجربی به دست آمده از این بررسی، می‌توان محل قرار گرفتن زبانه‌ی سیار در اتصال را نزدیک‌تر به لبه‌ی تحت کشش اتصال در نظر گرفت. آزادی عمل چنین کاری به خاصیت ابزارخوری گونه‌ی چوب عضو افقی اتصال بستگی پیدا می‌کند، چون حساسیت به ترک خوردن در چوب گونه‌های مختلف هنگام تعبیه کام در آن‌ها یکسان نیست. بنابراین با توجه به این که اختلاف معنی‌داری بین ظرفیت لنگر خمشی اتصال با ضخامت شانه ۱/۵ و ۵ میلی‌متر دیده نشده است، می‌توان ضخامت

[1] Derikvand, M., Ebrahimi, Gh., Eckelman, C.A. 2012. The effect of geometric shape of loose tenon on bending strength of mortise and loose tenon joint. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research. Accepted for publication. (In Persian).

[2] Tankut, A.N., Denizli, N. 2004. The Effects of joint Forms (Shape) and Dimensions on the Strengths of Mortise and Tenon joints. Turkish Journal of Agriculture & Forestry. 29:493-8.

[3] Eckelman, C.A., E. Haviarova, Y. Erdil, H. Akcay, A. Tankut, N. Denizli. 2004. Bending moment capacity of round mortise and tenon furniture joints. Forest Products Journal. 54: 192-197.

[4] Hill, M.D., Eckelman, C.A. 1973. Mortise and Tenon joint: Flexibility and Bending Strength of Mortise and Tenon joints. Furniture Design & Manufacturing. 45:54-62.

[5] Vesi, J., Ebrahimi, Gh., Bahmani, M. 2010. A study of the effects of height and thickness of tenon made out of beech and hornbeam on bending strength of mortise and tenon joint. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research. 25(1): 128-137. (In Persian).

[6] Bahmani, M., Ebrahimi, Gh., and Fathi, L. 2009. Predicting of withdrawal strength with dowel joint in medium density fiber (MDF) by mathematic model. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 24(1): 117-124. (In Persian).

- [7] Aman, R. L., West, H. A., & Cormier, D. R. 2008. An evaluation of loose tenon joint strength. *Forest Products Journal*. 58(3), 61-64.
- [8] Derikvand, M. 2011. Mortising jig, Iranian patent, 720171.
- [9] Eckelman, C.A. 1970. Chair stretchers and spindles prove tough after testing. *Furniture design and manufacturing*. 42: 220-223.
- [10] Eckelman, C.A. 2003. Textbook of product engineering and strength design of furniture Purdue Univ. West Lafayette, IN.
- [11] Eckelman, C.A., Erdil, Y.Z., and J. Zhang. 2002. Withdrawal and Bending Strength of Dowel Joints Constructed of Plywood and Oriented Strand Board. *Forest Products Journal*. 52(9):66-74.
- [12] Erdil, Y.Z., and J. Zhang. 2002. Bending moment capacity of rectangular mortise and tenon furniture joints. *Forest Products Journal*. 55(12):209-213.
- [13] Tankut, N. 2006. The Effect of Adhesive Type and Bond Line Thickness on the Strength of Mortise and Tenon joints. *International Journal of Adhesion & Adhesive*: pp. 1-6.

Effect of shoulder thickness on bending moment capacity of mortise and loose tenon joint

M. Derikvand^{*1}, Gh. Ebrahimi², C. A. Eckelman³

¹ MSc and ²Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

³ Professor, Department of Forestry and Natural Resources, Purdue University, West Lafayette, Indiana, America.

Abstract:

This study was carried out in order to determine the effect of shoulder thickness (including 1.5, 5, 10, 15 and 18.5 mm), loose tenon length (15, 20, 25, 30, and 35mm), width of loose tenon (20, 25, 30, 35, and 40mm), and loose tenon wood species (Beech, walnut, oak, sycamore, poplar, and fir) on bending moment capacity of mortise and loose tenon joint. Polyvinyl acetate (PVAc) adhesive was utilized in constructing joint specimens. Totally 100 T-type joints were made and tested in the same way. The results showed that the difference between the groups was highly significant in terms of shoulder thickness, loose tenon length, and width of loose tenon. Shoulder thickness directly affected bending moment capacity of joint. The highest bending moment capacity was obtained in joints with 1.5mm shoulder thickness. As loose tenon length and width were increased, the strength of the joint was correspondingly improved. Test joints with loose tenon made of beech wood gave higher bending moment capacity than joints with loose tenon constructed with other wood species.

Keywords: Shoulder thickness, Mortise and loose tenon joint, Bending moment capacity, PVAc adhesive.

* Corresponding author: m.derikvand@ut.ac.i