

تدوین مدلی ریاضی برای پیش‌بینی توان نگهداری اتصال با پین در تخته چندلا

مسیب دالوند^{۱*}، قنبر ابراهیمی^۲، مهدی تجویدی^۳، محمد لایقی^۴

^۱دانش آموخته، ^۲استاد و ^۳استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی توان نگهداری اتصال با پین چوبی در تخته چندلا و به دست آوردن یک مدل ریاضی برای پیش - بینی توان نگهداری این اتصال صورت گرفته است. اعضای اتصال از تخته چندلا با ضخامت ۱۹ میلی‌متر و ساخته شده از گونه - های پهن برگ (راش، ممرز و توسکا) بودند. در این بررسی، اثر متغیرهای گونه چوب پین (راش و ممرز)، قطر پین در سه سطح ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌متر و عمق نفوذ در سه سطح ۹، ۱۳ و ۱۷ میلی‌متر، بر توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح و لبه تخته چندلا بررسی شده است. نتایج نشان دادند که، توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح و لبه تخته چندلا با افزایش قطر و عمق نفوذ پین افزایش می‌یابد. توان نگهداری پین ممرز در سطح و لبه نسبت به پین راش بیشتر بود. بالاترین میزان توان نگهداری در جهت عمود بر سطح و لبه به ترتیب (۲۴۴۷N) و (۲۹۵۱N) در پین ممرز با قطر ۱۰ و عمق نفوذ ۱۷ میلی - متر دیده شده است. کمترین توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح و لبه به ترتیب (۷۸۴ N) و (۷۹۹ N) مربوط به پین راش با قطر ۱۰ و عمق نفوذ ۹ میلی‌متر بوده است.

واژگان کلیدی: توان نگهداری، تخته چندلا، پین، قطر، عمق نفوذ، مدل ریاضی.

مقدمه

یکی از بخش‌های اصلی و مهم هر سازه مبلمان چوبی اتصال‌ها آن است که در نقاط حساس بین عناصر آن سازه قرار داده می‌شوند. اتصال‌ها بار وارده را به طور پیوسته تحمل کرده و بین اعضای آن توزیع می‌کنند [۱]. اتصال‌ها به طور معمول ضعیف‌ترین بخش هر قطعه مبلمان و عامل اصلی شکست در آن است [۲]. اجزاء سازه به روش‌های متفاوت (گوشه‌ای، سر به سر، متقاطع، عرضی و...) و اتصال دهنده‌های گوناگون (دوبل، بیسکوییتی، دم چلچله، قلیف و...) به هم متصل می‌شوند.

حفظ ظرفیت اتصال و در عین حال فراهم آوردن بیشترین استحکام در سازه مبلمان، از نکات بسیار مهم در صنعت تولید مبلمان است، به همین خاطر در کاربرد مواد چوبی و چندسازه‌ای آن (پانل‌های تخته خرده چوب، تخته لایه، MDF، OSB و...) در مبلمان از پین چوبی (دوبل) برای ساخت اتصال استفاده می‌شود. کاربرد این اتصال دهنده به حالت زیانه و چسب کمکی است. به دلیل آسانی در ایجاد اتصال پین و ظرفیت آن، امروزه از این اتصال به طور گسترده‌ای در سازه‌های مبلمان مانند صندلی، نیمکت و کابینت‌سازی استفاده می‌شود. از این رو تحقیقات پرشماری بر روی اتصال با پین انجام شده و معادله‌های مختلفی برای پیش‌بینی مقاومت‌های این نوع اتصال پیشنهاد شده است.

Eckelman (۱۹۶۹) معادله تجربی $P = 0.063DL^{0.89}(0.95F_{V1} + F_{V2})(a_1a_2a_3)$ نیروی انفصال پین، D - قطر پین، L - عمق نفوذ، F_{V1} - مقاومت برشی چوب عضو اتصال، F_{V2} - مقاومت برشی پین و نوع چسب مصرفی و ضریب اصلاح برای تنگی سوراخ پین) برای پیش‌بینی نیروی انفصال با پین را پیشنهاد کرد [۳]. Eckelman و همکاران (۲۰۰۲) همچنین با بررسی نیروی انفصالی و مقاومت خمشی پین‌های ساخته شده از تخته لایه و OSB عنوان کرد که مقاومت کششی این پین‌ها را می‌توان بوسیله معادله $p = a_0Da_1La_2Wa_3$ (مقاومت کششی، D - قطر پین، L - عمق نفوذ، W - چگالی (دانسیته) تخته و a_1, a_2, a_3 ضرایب رگرسیونی) محاسبه کرد [۴]. Eckelman (۲۰۰۴) رابطه تجربی

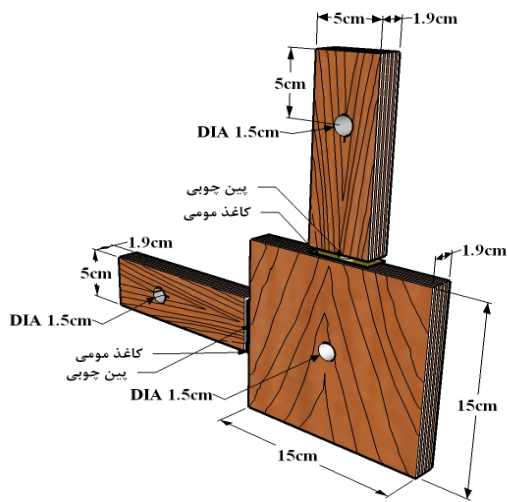
$w_1 = 30D^{0.6}(IB)^{0.85}L^{0.85}$ را برای توان نگهداری عمود بر سطح اتصال با پین و رابطه تجربی $w_2 = 208D^{0.55}L^{0.85}$ را برای توان نگهداری عمود بر لبه، در تخته خرده چوب و MDF ارائه داده است [۵]. بهمنی و همکاران (۱۳۸۸) ظرفیت لنگر خمشی و مقاومت کششی اتصال با پین چوبی در MDF را بررسی کردند و مدل‌های تجربی برای پیش‌بینی مقاومت این اتصال‌ها ارائه دادند. نتایج آنان نشان داد که بالاترین میزان ظرفیت خمشی و مقاومت کششی اتصال با پین چوبی در MDF از پین چوبی با قطر ۸ میلی‌متر و طول نفوذ ۱۲ میلی‌متر ایجاد می‌شود. آنان در پایان معادله تجربی $w_b = (d/2 + w/3 + e/3)w_1$ برای پیش‌بینی مقاومت خمشی (W_b بیشینه ظرفیت لنگر خمشی، d فاصله بین دو پین (محور تا محور)، w پهنای قید، e فاصله تا محور خنثی و W_1 مقاومت کششی اتصال دوبل) و معادله تجربی $w_t = 2D^{0.8}L^{0.69}(IB)^{2.3}$ برای پیش‌بینی مقاومت کششی (W_t - مقاومت کششی، D و L - به ترتیب قطر و طول نفوذ دوبل، و IB - چسبندگی درونی تخته) ارائه دادند [۶ و ۷].

Somechai (۱۹۸۹) مقاومت اتصال‌ها کام و زیانه و پین را در چوب گونه تیک (*Tectonagrandis*) بررسی کرد. اتصال‌ها مورد بررسی با استفاده از چسب پلی وینیل استات (PVA) و به دو شکل L و T ساخته شده بودند. نتایج این بررسی نشان داده است که اگر عامل‌هایی مانند چسب و نوع اتصال و گونه چوبی ثابت باشند، مقاومت اتصال ایجاد شده متناسب با طول نفوذ تغییر خواهد کرد؛ این پژوهشگر رابطه $S = a + bl$ (S - مقاومت اتصال، L - عمق نفوذ، a و b - ضرایب ثابت) برای تعیین مقاومت اتصال را ارائه داد [۸].

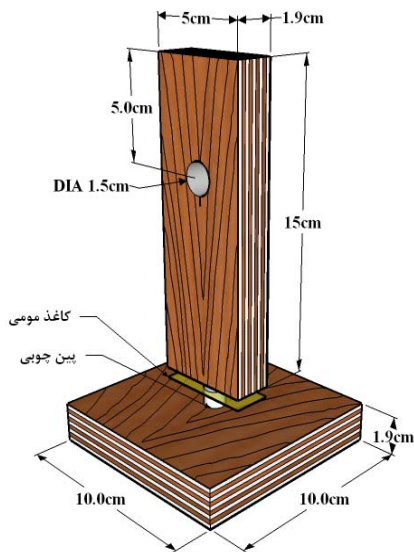
دالوند و همکاران (۱۳۹۲) اثر قطر، عمق نفوذ و گونه چوب پین بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال با پین در مبلمان صفحه‌ای زیر بار کششی را بررسی کردند. نتایج این پژوهشگران نشان داده است که با افزایش قطر پین از ۶ به ۸ میلی‌متر و افزایش عمق نفوذ پین از ۹ به ۱۳ میلی‌متر ظرفیت لنگر خمشی زیر بار کششی افزایش می‌یابد، ولی اختلاف معنی‌داری بین قطر پین ۸ و ۱۰ میلی‌متر و عمق نفوذ ۱۳ و ۱۷ میلی‌متر ندیدند [۹]. Dalvand و

²- Poly Vinyl Acetate

بودند. در شکل ۲ و ۳ نمائی از اتصال ساخته شده برای بررسی توان نگهداری پین ارائه شده است.



شکل ۲- اتصال ساخته شده برای بررسی توان نگهداری پین در جهت عمود بر لبه.



شکل ۳- اتصال ساخته شده برای بررسی توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح.

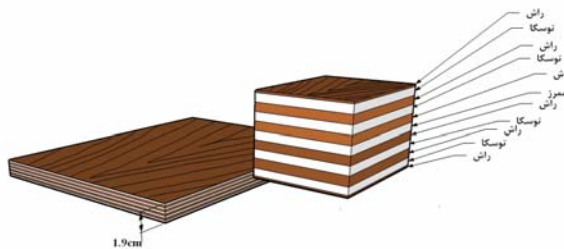
پس از برش نمونه‌ها، عملیات سوراخکاری با دستگاه دریل ستونی و افقی انجام شد. سرعت چرخش دستگاه در عملیات سوراخکاری ثابت بود.

برای مونتاژ (سوار کردن) نمونه‌ها، در آغاز سطح و دیواره سوراخ پین‌ها به چسب پلی وینیل استات آغشته شد. سپس پین‌ها در سوراخ‌های تعبیه شده قرار داده شدند. پین‌های مورد استفاده دارای سطح مارپیچی، راست تار و

همکاران (۲۰۱۳) عنوان کرده‌اند که با افزایش عمق نفوذ پین در عضو اصلی ظرفیت لنگر خمشی اتصال گوشه‌ای زیر بار فشاری افزایش می‌یابد. همچنین در این بررسی پیشنهاد شده است که طراحی سازه مبلمان محدودیت بزرگ‌تر گرفتن قطر پین را در نظر گیرد تا از شکست اعضای اتصال جلوگیری شود [۱۰]. به دلیل آسانی در ایجاد اتصال با پین و ظرافت آن، امروزه از این اتصال به طور گسترده‌ای در سازه‌های مبلمان مانند صندلی، نیمکت و کابینت‌سازی استفاده می‌شود. بنابراین لازم است از خواص مهندسی این نوع اتصال اطلاعات لازم فراهم باشد تا در محاسبات طراحی سازه‌های مربوط مورد استفاده قرار گیرد. لذا این تحقیق با هدف بررسی توان نگهداری اتصال پین در تخته چندلا و ارائه مدل ریاضی برای محاسبات طراحی سازه‌های ساخته شده از این مواد و پیش بینی استحکام آنان، اجرا شد.

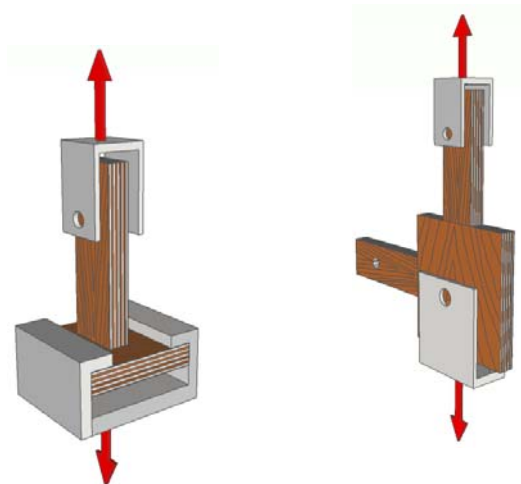
مواد و روش‌ها

در این بررسی تخته چندلا (۱۱ لایه) پهن برگ (راش، ممرز و توسکا) به ابعاد $۲۲۰ \times ۱۰۵ \times ۱/۹$ سانتی‌متر از کارخانه نکا چوب ساری تهیه شد. چیدمان لایه‌ها در تخته چندلا در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- شمایی از چیدمان تخته چندلا مورد استفاده در این تحقیق

برای بررسی توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح و لبه، تخته‌ها به ابعاد مورد نیاز بریده شدند. نمونه‌های مربوط به آزمون توان نگهداری پین در جهت عمود بر لبه شامل دو عضو، یک عضو افقی به ابعاد ۱۰×۱۰ سانتی‌متر و یک عضو قائم به ابعاد ۵×۱۵ سانتی‌متر بودند. ولی نمونه‌های مربوط به آزمون توان نگهداری لبه دارای سه عضو، دو عضو به ابعاد ۵×۱۵ و یک عضو ۱۵×۱۵ سانتی‌متر



(ب)

(الف)

شکل ۴- نحوه اعمال بار در آزمون توان نگهداری پین، الف) جهت عمود بر لبه، ب) عمود بر سطح.

در مجموع ۱۸ تیمار و برای هر تیمار ۵ تکرار برای بررسی توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح و لبه تخته چندلا در نظر گرفته شد. برای بررسی آماری تاثیر متغیرها از طرح کاملا تصادفی و تجزیه واریانس، و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن به طور جداگانه برای قطر و عمق نفوذ پین استفاده شده است. نتایج با استفاده از نرم افزار SPSS تحلیل شدند.

نتایج و بحث

میانگین مقادیر توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح و لبه تخته چندلا در قطر و عمق نفوذهای مختلف در جدول ۲ ارائه شده است. به طور کلی در هر دو آزمون (توان نگهداری در جهت عمود بر سطح و لبه) شکست در ناحیه خط چسب دیده شد.

همان طور که در جدول ۲ ملاحظه می شود، بیشترین توان نگهداری در جهت عمود بر سطح و لبه مربوط به پین ممرز با عمق نفوذ ۱۷ و پین به قطر ۱۰ میلی‌متر بوده است و کمترین آن در پین راش با عمق نفوذ ۹ و به قطر ۶ میلی‌متر دیده شده است.

بدون هر گونه عیبی بودند. چگالی و خواص مکانیکی گونه چوب پین در جدول ۱ ارائه شده است [۱۱].

جدول ۱- خواص فیزیکی و مکانیکی گونه چوب پین.

گونه پین	وزن (g/cm^3)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
راش	۰/۶۲	۱۲۳/۶۶۳	۱۱۶۸۰/۶۷
ممرز	۰/۷۱	۱۲۱/۷۵۳۳	۱۱۲۱۵/۶۷

برای جلوگیری از چسبیدن سطوح تماس اعضای اتصال به یکدیگر قطعه‌ای کاغذ مومی^۳ بین اعضای اتصال قرار داده شد. نمونه‌ها پس از مونتاژ به مدت ۲۴ ساعت با گیره دستی برای عمل کردن چسب بسته شدند. سپس به مدت ۲ هفته در اتاق مشروط سازی با رطوبت نسبی ۱٪± ۶۵ و دمای 20 ± 2 °C برای رسیدن به رطوبت تعادل نگهداری شدند.

عوامل‌عامل‌ها متغیرو ثابت در این مطالعه بررسی عبارت بودند از :

عامل‌های متغیر: قطر پین چوبی : ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌متر- عمق نفوذ پین در عضو افقی اتصال: ۹، ۱۳ و ۱۷ میلی‌متر -گونه چوب پین (راش و ممرز).

عامل‌های ثابت: سطح پین چوبی (مارپیچی)- چسب مصرفی (پلی وینیل استات)- نزدیکی اندازه قطر پین و سوراخ (کم‌تر از ۰/۰۵ میلی‌متر)- ضخامت تخته (۱۹ میلی‌متر)- عمق نفوذ در عضو قائم (۳۰ میلی‌متر).

برای اندازه‌گیری توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح و لبه از دستگاه اینسترون مدل ۴۴۸۶ استفاده شد. سرعت بارگذاری ۱/۲mm/min تنظیم شد. در شکل ۴ چگونگی اعمال بار در هر دو حالت آزمایش نشان داده شده است.

³ - Wax paper

میانگین مقادیر توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح و لبه تخته چندلا در قطر و عمق نفوذهای مختلف.

توان نگهداری پین عمود بر سطح (N)	توان نگهداری پین عمود بر لبه (N)	قطر پین (mm)	عمق نفوذ (mm)	گونه چوب پین	
۷۸۴/۶۰ (۸۹)*	۷۹۹/۰۰ (۱۸۶)*	۶	۹	راش	
۱۲۴۶/۷۰ (۱۳۵)	۱۲۴۶/۸۰ (۱۴۵)	۸			
۱۴۱۸/۷۰ (۲۳۷)	۱۱۹۷/۴۰ (۱۵۱)	۱۰			
۱۱۶۱/۱۰ (۱۸۹)	۱۳۸۵/۰۰ (۱۸۵)	۶	۱۳		
۱۳۰۵/۳۰ (۱۲۶)	۱۶۷۶/۰۰ (۲۱۴)	۸			
۲۱۴۶/۰۰ (۱۷۳)	۲۳۵۶/۲۰ (۲۰۳)	۱۰			
۱۶۷۵/۹۰ (۱۵۵)	۱۸۷۱/۶۰ (۱۱۷)	۶	۱۷		ممرز
۱۹۱۰/۲۰ (۱۸۰)	۲۳۹۳/۲۰ (۱۷۷)	۸			
۲۰۳۱/۶۰ (۲۹)	۲۷۷۸/۰۰ (۱۱۱)	۱۰			
۹۶۸/۸۰ (۱۲۳)	۱۰۲۴/۴۰ (۱۶۷)	۶	۹		
۱۲۵۸/۹۰ (۱۱۷)	۱۲۷۹/۰۰ (۳۱۴)	۸			
۱۵۰۴/۵۰ (۱۵۲)	۱۳۷۷/۰۰ (۱۹۲)	۱۰			
۹۶۲/۳۰ (۵۴)	۱۳۰۱/۶۰ (۲۸۵)	۶	۱۳		
۱۶۴۴/۳۰ (۵۴)	۱۹۰۰/۶۰ (۱۸۳)	۸			
۲۱۶۴/۷۰ (۱۲۲)	۲۱۹۲/۲۰ (۹۴)	۱۰			
۱۴۸۳/۶۰ (۹۱)	۲۲۴۲/۰۰ (۱۳۳)	۶	۱۷		
۲۰۸۷/۲۰ (۲۳۱)	۲۴۴۱/۰۰ (۶۹)	۸			
۲۴۴۷/۵۰ (۲۲۵)	۲۹۵۱/۴۰ (۶۱)	۱۰			

*اعداد داخل پرانتز انحراف معیار تیمارها را نشا

نگهداری پین در جهت عمود بر سطح، اختلاف معنی‌داری وجود داشت. اختلاف معنی‌داری در اثر متقابل (گونه چوب پین × قطر پین) و (گونه چوب پین × عمق نفوذ پین) در توان نگهداری پین در جهت عمود بر لبه و همچنین اثر متقابل (گونه چوب پین × عمق نفوذ پین) در توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح دیده نشده است.

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ ارائه شده است. اثرگذاری مستقل قطر، عمق نفوذ و گونه چوب پین، بر توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح و لبه تخته چندلا در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است. همچنین در مورد اثر متقابل عامل‌ها بررسی شده دیده می‌شود، بین اثر متقابل (عمق نفوذ پین × قطر پین) در توان نگهداری پین در جهت عمود بر لبه و تاثیر متقابل (عمق نفوذ پین × قطر پین) و (گونه چوب پین × قطر پین) در توان

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح و لبه تحت چندلا.

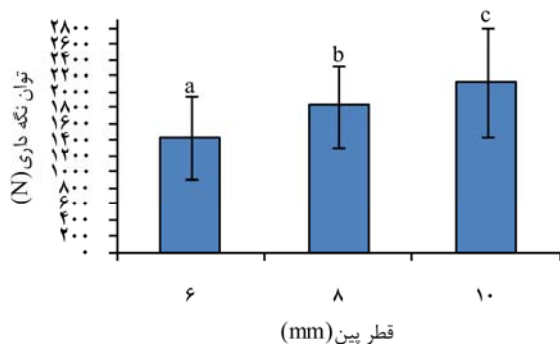
توان نگهداری پین عمود بر لبه				
Sig.	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۰/۰۰۴*	۸/۸۳۴	۲۸۱۱۲۱/۱۱۱	۱	گونه چوب پین
۰/۰۰۰*	۳۹۳/۵۸۰	۱/۲۵۲×۱۰ ^۷	۲	نفوذ
۰/۰۰۰*	۱۱۷/۴۰۷	۳/۷۳۶×۱۰ ^۶	۲	عمق پین
۰/۰۰۷۶	۲/۶۷۵	۸۵۱۲۸/۷۱۱	۲	گونه چوب پین * عمق نفوذ
۰/۴۹۸	۰/۷۰۳	۲۲۳۷۹/۴۱۱	۲	گونه چوب پین * قطر پین
۰/۰۰۰*	۸/۰۳۴	۲۵۵۶۵۲/۱۱۱	۴	عمق نفوذ * قطر پین
۰/۰۳۵*	۲/۷۴۰	۸۷۱۸۰/۳۱۱	۴	گونه چوب پین * عمق نفوذ * قطر پین
توان نگهداری پین عمود بر سطح				
Sig.	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۰/۰۰۴*	۸/۶۳۵	۱۹۶۷۹۴/۱۳۶	۱	گونه چوب پین
۰/۰۰۰*	۱۸۱/۳۳۱	۴/۱۳۳×۱۰ ^۶	۲	عمق نفوذ
۰/۰۰۰*	۲۰۰/۰۰۱	۴/۵۵۸×۱۰ ^۶	۲	قطر پین
۰/۵۸۹	۰/۵۳۴	۱۲۱۷۲/۲۶۹	۲	گونه چوب پین * عمق نفوذ
۰/۰۰۳*	۶/۵۱۷	۱۴۸۵۲۷/۵۱۹	۲	گونه چوب پین * قطر پین
۰/۰۰۰*	۱۰/۶۳۸	۲۴۲۴۴۸/۰۸۲	۴	عمق نفوذ * قطر پین
۰/۰۰۰*	۶/۳۱۴	۱۴۳۸۹۷/۴۱۵	۴	گونه چوب پین * عمق نفوذ * قطر پین

*معنی‌داری در سطح ۵ درصد

جدول ۴- میانگین توان نگه‌داری دیده شده و پیش‌بینی شده اتصال با پین در جهت عمود بر سطح و لبه تخته

چندلا

توان نگهداری (N)				قطر پین (mm)	عمق نفوذ پین (mm)
عمود بر لبه		عمود بر سطح			
پیش‌بینی شده	دیده شده	پیش‌بینی شده	دیده شده		
۹۱۲/۸۱	۸۷۶/۸۰	۹۴۵/۸۰	۹۱۱/۷۰	۶	۹
۱۲۰۵/۲۳	۱۲۵۳/۱۰	۱۱۷۳/۸۹	۱۲۶۲/۹۰	۸	
۱۴۹۵/۱۵	۱۴۶۱/۹۰	۱۳۸۸/۰۶	۱۲۸۷/۲۰	۱۰	
۱۱۹۶/۹۶	۱۰۶۱/۹۰	۱۴۴۵/۷۶	۱۳۴۳/۳۰	۶	۱۳
۱۵۸۰/۴۱	۱۴۷۵/۱۰	۱۷۹۴/۴۲	۱۷۸۸/۳۰	۸	
۱۹۶۰/۵۸	۲۱۵۵/۶۰	۲۱۲۱/۷۹	۲۲۷۴/۲۰	۱۰	
۱۴۵۸/۶۲	۱۵۸۰/۱۰	۱۹۷۰/۳۵	۲۰۵۶/۸۰	۶	۱۷
۱۹۲۵/۹۰	۱۹۹۸/۹۰	۲۴۴۵/۵۲	۲۴۱۷/۱۰	۸	
۲۳۸۹/۱۸	۲۲۳۹/۸۰	۲۸۹۱/۶۸	۲۸۲۴/۷۰	۱۰	

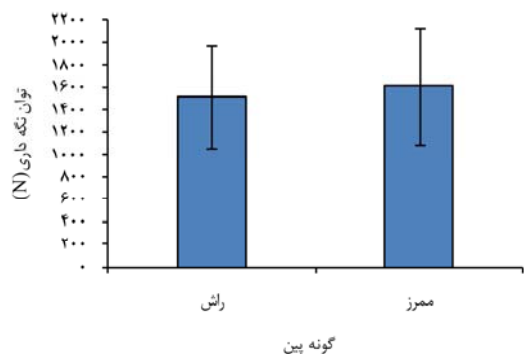


شکل ۷- اثر مستقل قطر پین بر توان نگهداری درجهت عمود بر لبه

برابر شکل ۷ توان نگهداری پین با افزایش قطر به طور فزاینده‌ای افزایش یافته است. توان نگهداری پین به قطر ۱۰ میلی‌متر نسبت به قطر ۶ میلی‌متر ۴۵ درصد و نسبت به قطر ۸ میلی‌متر ۱۷ درصد افزایش داشته است. علت بیشتر بودن توان نگهداری پین به قطر ۱۰ میلی‌متر را می‌توان سطح بیشتر پین ۱۰ میلی‌متر نسبت به پین ۶ و ۸ میلی‌متر دانست. به عبارت دیگر با افزایش سطح تماس بین اعضای اتصال و اتصال دهنده توان نگهداری افزایش می‌یابد.

توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح

۸ تا ۱۰ تاثیر مستقل گونه چوب پین، عمق نفوذ و قطر پین، بر توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح را نشان می‌دهد.



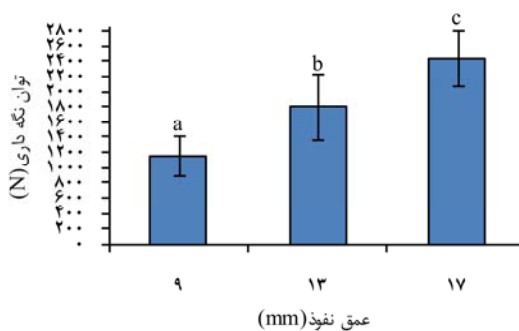
شکل ۸- اثر مستقل گونه چوب پین بر توان نگهداری در جهت عمود بر سطح

همان‌طور که در شکل ۸ دیده می‌شود، اتصال با پین ممرز توان نگهداری بیشتری نسبت به پین راش داشته است.

توان نگهداری پین در جهت عمود بر لبه

۵ تا ۷ اثر مستقل گونه چوب پین، عمق نفوذ و قطر پین، بر توان نگهداری پین در جهت عمود بر لبه را نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، اتصال با پین ممرز توان نگهداری بیشتری نسبت به پین راش داشته است. توان نگهداری پین ممرز نسبت به پین راش ۶ درصد بیشتر بوده است. علت این امر را می‌توان به صاف‌تر پین ممرز در مقایسه با پین راش، نسبت داد. به عبارت دیگر هر چه سطح اتصال دهنده و اعضای اتصال صاف‌تر باشد، چسبندگی بهتری بین اتصال دهنده و اعضای اتصال ایجاد می‌شود [۴ و ۵]. به طور کلی می‌توان عنوان کرد که پین ممرز به دلیل چگالی بیشتر و بافت متراکم‌تر نسبت به پین راش دارای سطح صاف‌تری است که باعث چسبندگی بهتر بین اعضای اتصال و پین ممرز، نسبت به پین راش می‌شود.

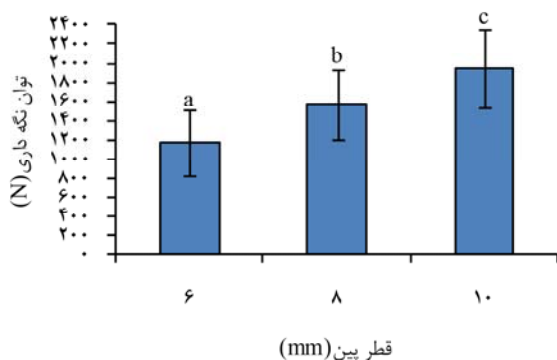
شکل ۶ تاثیر عمق نفوذ بر توان نگهداری پین در جهت عمود بر لبه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است با افزایش عمق نفوذ توان نگهداری پین افزایش یافته است.



شکل ۶- اثر مستقل عمق نفوذ پین بر توان نگهداری درجهت عمود بر لبه (حروف روی نمودار گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهند)

میانگین توان نگهداری پین با عمق نفوذ ۱۷ میلی‌متر نسبت به عمق نفوذ ۹ و ۱۳ میلی‌متر به ترتیب ۱۱۱ و ۳۵ درصد بیشتر بود. دلیل این امر را می‌توان سطح تماس بیشتر اتصال دهنده و اعضای اتصال با افزایش عمق نفوذ پین دانست.

توان نگهداری پین ممرز نسبت به پین راش ۶ درصد بیشتر بوده است. علت بیشتر بودن توان نگهداری پین ممرز را می‌توان به سطح صاف‌تر پین ممرز نسبت به پین راش نسبت داد.



شکل ۱۰- اثر مستقل قطر پین بر توان نگهداری در جهت عمود بر سطح

با توجه به معنی‌دار بودن عامل‌های متغیر مورد بررسی (قطر، عمق نفوذ و گونه چوب پین)، بر توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح و لبه تخته چندان، پس از تحلیل داده‌ها با نرم افزار SPSS برای پیش‌بینی رابطه بین متغیرهای مورد بررسی معادله ۱، در نظر گرفته شد.

$$W_{f-e} = KP^a d^b \quad (\text{معادله ۱})$$

در این معادله W_{f-e} توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح و لبه تخته چندان، P عمق نفوذ پین، d قطر پین، K مقدار ثابت و a و b ضرایب رگرسیونی می‌باشند.

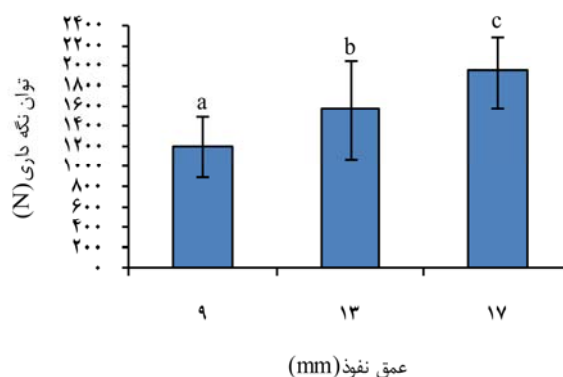
پس از تحلیل‌های صورت گرفته مقادیر ثابت (a و b)، ضریب همبستگی بین تابع و متغیرها، روابط زیر به دست آمدند.

راش	$W_f = 16.641P^{1.143}d^{.825}$	$R^2 = 0/88$	۱
	$W_e = 44.964P^{.719}d^{.811}$	$R^2 = 0/76$	۲
ممرز	$W_f = 22.635P^{1.164}d^{.682}$	$R^2 = 0/90$	۳
	$W_e = 22.939P^{.760}d^{.11}$	$R^2 = 0/90$	۴

معادله‌های ۱ تا ۴ بیانگر رابطه عامل‌های متغیر قطر، عمق نفوذ و گونه چوب پین با توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح و لبه تخته چندان می‌باشند، بر پایه این معادله‌ها توان نگهداری پین به قطر، عمق نفوذ و گونه

توان نگهداری پین ممرز نسبت به پین راش ۶ درصد بیشتر بوده است. علت بیشتر بودن توان نگهداری پین ممرز را می‌توان به سطح صاف‌تر پین ممرز نسبت به پین راش نسبت داد.

شکل ۹، تاثیر عمق نفوذ بر توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح را نشان می‌دهد. همان طور که دیده می‌شود، با افزایش عمق نفوذ توان نگهداری پین در لبه افزایش یافته است. میانگین توان نگهداری پین با عمق نفوذ ۱۷ میلی‌متر نسبت به عمق نفوذ ۹ و ۱۳ میلی‌متر به ترتیب ۶۲ و ۲۴ درصد بیشتر بوده است.



شکل ۹- اثر مستقل عمق نفوذ پین بر توان نگهداری در جهت عمود بر سطح

بر پایه بررسی‌های (Eckelman, 2004) توان نگهداری پین تحت تاثیر عمق نفوذ پین قرار داشته و با افزایش عمق نفوذ، به دلیل تماس بیشتر اتصال دهنده و اعضای اتصال (سطح چسب خور بیشتر) افزایش می‌یابد [۵].

شکل ۱۰، رابطه توان نگهداری پین و قطرهای مختلف را نشان می‌دهد. همان طور که دیده می‌شود با افزایش قطر توان نگهداری پین به طور فزاینده‌ای افزایش یافته است. توان نگهداری پین به قطر ۱۰ میلی‌متر نسبت به قطر ۶ میلی‌متر ۶۶ درصد و نسبت به قطر ۸ میلی‌متر ۲۳ درصد افزایش داشته است. علت بیشتر بودن توان نگهداری پین به قطر ۱۰ میلی‌متر نسبت به پین با قطر ۶ و ۸ میلی‌متر را می‌توان به سطح بیشتر پین ۱۰ میلی‌متر نسبت داد. به عبارت دیگر با افزایش سطح تماس بین اعضای اتصال و اتصال دهنده توان نگهداری افزایش می‌یابد. بنابر تحقیقات

بیشتری را برای پین ایجاد می‌کنند. که این امر به سطح صاف‌تر پین ساخته شده از گونه‌های با چگالی بیشتر به علت بافت متراکم‌تر، ربط دارد. توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح و لبه تخته چندلا با افزایش قطر و عمق نفوذ پین به طور فزاینده‌ای افزایش یافت. دلیل این امر را می‌توان سطح تماس بیشتر اتصال دهنده و اعضای اتصال با افزایش قطر و عمق نفوذ پین دانست. با توجه به نتایج به دست آمده از میان اتصال‌ها مورد بررسی اتصال با پین ممرز عمق نفوذ ۱۷ میلی‌متر و قطر ۱۰ میلی‌متر پیشنهاد می‌شود. همچنین معادله $W_f = 16.641P^{1.143}d^{.825}$ و $W_e = 22.635P^{1.164}d^{.682}$ به ترتیب برای پیش‌بینی توان نگهداری پین راش و ممرز در جهت عمود بر سطح و معادله $W_e = 44.964P^{.719}d^{.811}$ و $W_e = 22.939P^{.760}d^{.11}$ به ترتیب برای پیش‌بینی توان نگهداری پین راش و ممرز در جهت عمود بر لبه تخته چندلا پیشنهاد می‌شود.

چوب پین بستگی دارد. با توجه به R^2 بالای این معادله‌ها و همچنین نتایج ارائه شده در جدول ۴، نتایج پیش‌بینی همخوانی بسیار خوبی با مشاهده‌ها آزمایشگاهی دارند بنابراین می‌توان این معادله‌ها را به عنوان مدلی برای پیش‌بینی توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح و لبه تخته چندلا استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح و لبه تخته چندلا مورد بررسی قرار گرفت و مدل‌های ریاضی برای پیش‌بینی مقاومت این اتصال‌ها ارائه شد، تا اطلاعات لازم از خواص مهندسی این نوع اتصال‌ها به دست آید و در محاسبات طراحی سازه‌های مربوط مورد استفاده قرار گیرد. نتایج این بررسی نشان داد که توان نگهداری پین در جهت عمود بر سطح و لبه تخته چندلا تحت تاثیر چگالی گونه چوب پین، قطر و عمق نفوذ پین قرار می‌گیرد. به طور کلی می‌توان گفت که پین‌های ساخته شده از گونه‌های با چگالی بیشتر، توان نگهداری

- [1] Ebrahimi, G. 2007. Engineering design of furniture structure. Tehran university publication, 491 pp. (In Persian).
- [2] Eckelman, C. A. 2004. Engineering Design of furniture. Purdue Uni.UsA. Chap 6.
- [3] Eckelman, C. A. 1969. Engineering concepts of single-pin dowel joint design. Forest products journal 19 (2): 52-59.
- [4] Eckelman, C. A., Erdil, Y. Z., Zhang, J. 2002. Withdrawal and bending strength of dowel joints constructed of plywood and oriented strand board. Forest products journal 52 (9): 66-74.
- [5] Eckelman, C. A. 2004. Textbook of product engineering and strength design of furniture. West Lafayette (IN): Purdue University Press.
- [6] Bahmani, M., Ebrahimi, G., Fathi, L. 2008. 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] Bahmani, M., Ebrahimi, GH., Veisi, J. 2010. Design of experimental model for predicting ultimate bending strength dowel joint in medium density fiber. Journal of forest and wood products (JFWP), Iranian journal of natural resources 62(4): 335-342. (In Persian).
- [8] Somchai, V. (1989). Strength of tenon and dowel in teak (*Tectona grandis* Linn. f.) Bangkok, 106p.
- [9] Dalvand, M., Ebrahimi GH., Tajvidi, M., Layeghi, M. 1392. Investigation effect of diameter, penetration depth and species types of dowel on the bending moment resistance of corner joints fabricated with dowel in the case-type furniture. Iranian Journal of wood and paper Science Research. 28(1): 11-23. (In Persian).
- [10] Dalvand, M., Ebrahimi GH., Tajvidi, M., Layeghi, M. 2013. Bending moment resistance of dowel corner joints in case-type furniture under diagonal compression load. Journal of Forestry Research. Accepted for publication.
- [11] Heydari, H. 2011. Fabricating a wooden bearing for combine and evaluating its functionality. MS.C Thesis, Department of wood and paper Science and Technology. Faculty of Nature Resource, University of Tehran. (In Persian).

Establishing mathematical model withdrawal resistance of wooden dowel in plywood

M. Dalvand^{*1}, Gh. Ebrahimi², M. Tajvidi³, M. Layeghi⁴

¹M.Sc. ²Professor, ^{3,4} Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

Abstract

The goal of this study was to investigate withdrawal resistance of doweled joint with plywood members and establishing a predicting mathematical model for such joints in which regularly dowel is installed perpendicular to surface and also edge of plywood. Joint members were out of 11-ply hardwood plywood (Hornbeam, Beech and Alder) that were 19 mm in thickness. Dowels were fabricated out of Beech and Hornbeam species. Their diameters (6, 8 and 10 mm) and depths of penetration (9, 13 and 17 mm) in joint members were chosen variable in this experiment.

Results have shown that withdrawal resistance of doweled joints made on face and edge of plywood members, increases with increase of dowel's diameter and its penetration depth. Joints made with dowels of Hornbeam had higher than dowels of Beech ones. Highest withdrawal resistances (2951 N, 2441 N) were observed in joint on face and edge side of plywood members made with dowels of Hornbeam which were 10 mm in diameter and their depth of penetration was 17 mm. Lowest withdrawal resistance values (799 N, 784N) were of Beech wood dowels which were 6 mm in diameter and 9 mm penetrated into members.

Keywords: Withdrawal resistance, Plywood, dowel, Diameter, Penetration depth, Mathematical model.

* Corresponding author: Dalvand3@yahoo.com , M.dalvand@ut.ac.ir