

## کاربرد مدل رگرسیونی برای پیش‌بینی استحکام اتصال با پیچ روی اعضا از تخته چندلا بر حسب قطر و عمق نفوذ

### چکیده

هدف از این پژوهش ارائه مدل رگرسیونی برای پیش‌بینی استحکام اتصال ساخته شده با پیچ و اعضاء از تخته چندلا بوده است. اعضای اتصال از تخته چندلا با ضخامت ۱۹ میلی‌متر و ساخته شده از گونه‌های پهن‌برگ بودند. در این مطالعه پیچ‌های پانلی رزوه ریز و رزوه درشت با قطرهای اسمی ۳/۵، ۴ و ۵ میلی‌متر و طول اسمی به ترتیب ۳/۵، ۴ و ۵ سانتی‌متر و پیچ‌های خودکار با قطر اسمی ۴ و ۵ میلی‌متر و طول اسمی ۴ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نتایج نشان دادند که با افزایش قطر و عمق نفوذ پیچ، استحکام اتصال افزایش یافته است. اتصال‌های ساخته شده با پیچ رزوه درشت دارای استحکام بیشتری در مقایسه با اتصال‌های ساخته شده با پیچ رزوه ریز بوده‌اند. بنابر مشاهده‌ها، بیشترین استحکام در اتصال با پیچ پانلی رزوه درشت با قطر ۵ میلی‌متر و عمق نفوذ ۲۸ میلی‌متر به دست آمده است. در پایان، مدل‌های مناسبی با ضریب تبیین بالا برای پیش‌بینی استحکام اتصال برای پیچ رزوه درشت  $W_c = 2.127 \times D^{1.072} \times P^{0.520}$  و پیچ رزوه ریز  $W_f = 1.377 \times D^{1.156} \times P^{0.581}$  بر اساس قطر و طول نفوذ ارائه شده است. آنالیز مقادیر پیش‌بینی شده از مدل‌های ارائه شده، تطابق بسیار خوبی با مشاهده‌های آزمایشگاهی داشته‌اند.

**واژگان کلیدی:** استحکام اتصال، تخته چندلا، پیچ، پیچ پانلی، مدل رگرسیونی

صادق ملکی<sup>\*۱</sup>  
مهدی فائزی پور<sup>۲</sup>  
قنبر ابراهیمی<sup>۳</sup>  
محمد لایقی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، <sup>۲</sup> استادیار، <sup>۳</sup> استادیار  
صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه  
تهران

\* مسئول مکاتبات:  
s.maleki@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۹/۱۶  
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۱/۲۱

### مقدمه

امروزه صفحه‌های چندسازه یا فرآورده‌های صفحه‌ای مانند تخته خرده چوب، تخته فیبر و تخته چندلایه به صورت گسترده‌ای در ساخت مبلمان استفاده می‌شوند. به طور کلی استحکام هر سازه‌ای به‌طور مستقیم به نوع اتصال‌دهنده مورد استفاده در آن بستگی دارد. گزینش اتصالی مناسب، نه تنها به کاری که ساخته می‌شود زیبایی می‌بخشد بلکه استحکام و دوام آن را زیاد می‌کند [۱].

یکی از متداول‌ترین اتصال‌دهنده‌ها که در صنعت مبلمان و به‌ویژه سازه‌های ساخته شده با صفحه‌های چندسازه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد، اتصال با انواع پیچ است. بنابراین در ساخت مبلمان افزون بر اعمال دقت در کیفیت مصالح بایستی به شکل هندسی به هم آمدن اعضای اتصال و روند ساخت اتصال روی آن‌ها توجه شود [۲]. به طور کلی استفاده از روش‌های پیش‌بینی خواص مکانیکی می‌تواند منجر به برآورد پرشتاب و ارزان‌تر خواص این

## معادله ۴-

$$SWR_e = 39(IB)^{.185} (L - D/3)^{.125}$$

که در آن IB چسبندگی درونی تخته است. بررسی توان‌نگهداری پیچ در سطح و لبه پیچ سر مهره‌ای برای تخته خرده چوب و MDF نشان داد که گزینش بهینه قطر سوراخ پیش ساخته به طور چشمگیری توان‌نگهداری پیچ را در تخته خرده چوب و MDF افزایش می‌دهد و همچنین قطر سوراخ پیش ساخته باید برای پیچ، حدود ۸۵-۸۰ درصد قطر ریشه‌ی پیچ باشد [۷]. با مشخص شدن تاثیر قطر سوراخ پیش ساخته بر توان‌نگهداری پیچ، معادله ۵ برای پیش‌بینی توان‌نگهداری پیچ عمود بر سطح تخته‌خرده چوب و MDF ارائه شد [۷].

## معادله ۵-

$$SWR_f = 14 \times D^{.645} \times IB^{1.025} \times (1 + H/100)^{.13}$$

که در آن H قطر سوراخ پیش ساخته، D قطر بدنه پیچ و IB چسبندگی درونی تخته هستند.

بررسی پیش‌بینی چسبندگی درونی تخته‌خرده چوب بر پایه معادله‌هایی که برای پیش‌بینی توان‌نگهداری پیچ ارائه شده بود نشان داد که بین توان‌نگهداری پیچ عمود بر سطح و لبه تخته با چگالی آن همبستگی چشمگیری وجود ندارد؛ ولی بین توان‌نگهداری پیچ عمود بر سطح و لبه و چسبندگی درونی همبستگی خوبی وجود دارد [۸]. تحقیقات Eckelman (۲۰۰۳) نشان داد که توان‌نگهداری پیچ در لبه تخته خرده چوب نسبت به سطح رویی ۷۵ درصد است و توان‌نگهداری پیچ متأثر از جرم ویژه تخته، قطر اتصال دهنده، عمق نفوذ و چسبندگی درونی تخته است [۹]. Miljkovic و همکاران (۲۰۰۷) تاثیر قطر پیچ، شکل و اندازه ذرات بر روی توان‌نگهداری پیچ و مقاومت کششی در لبه تخته خرده چوب و تخته تراشه جهت‌دار (OSB) را بررسی کردند و نشان داده‌اند که توان‌نگهداری پیچ با قطر ۵ میلی‌متر و مقاومت کششی در تخته تراشه جهت‌دار (OSB) در لبه به ترتیب ۷۳-۵۶ و ۲۹ درصد بیشتر از تخته خرده چوب می‌باشد [۱۰]. Rostampour و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر اندازه هندسی و نوع پیچ بر توان‌نگهداری انواع پیچ مورد استفاده در صنعت مبلمان در ساخت اتصال روی چوب پلاستیک صنعتی را بررسی

فرآورده‌ها شود. با توجه به اهمیت مقاومت اتصال صفحه‌های چندسازه، تلاش‌های زیادی برای پیش‌بینی توان‌نگهداری پیچ انجام شده است. نخستین بار یک مدل خطی ساده (معادله ۱) برای برآورد توان‌نگهداری پیچ عمود بر لبه (ضخامت) تخته‌خرده چوب برپایه چگالی تخته ارائه شد [۳].

## معادله ۱-

$$SWR_e = 274/3 D + 11/32$$

که در آن  $SWR_e$  توان‌نگهداری عمود بر لبه و D دانسیته تخته است. از آنجا که این معادله خطی ساده تنها برپایه چگالی بیان شده بود، دقت لازم را برای پیش‌بینی این ویژگی تخته‌خرده چوب نداشت. از این رو معادله‌های دیگری برای پیش‌بینی توان‌نگهداری پیچ عمود بر سطح و عمود بر لبه بر اساس دانسیته و عمق نفوذ و قطر بدنه (ریشه) پیچ بیان شدند [۴].

## معادله ۲-

$$SWR_f^2 = 20.55D^{.15} \times (L - D/3)^{1.25} \times D_b$$

## معادله ۳-

$$SWR_e = 2655D^{.15} \times (L - D/3)^{1.25} \times D_b$$

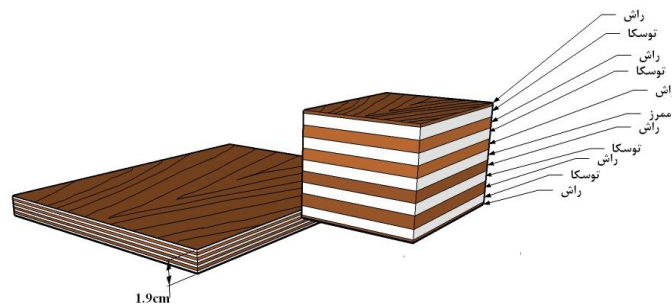
که در آن‌ها L عمق نفوذ پیچ، D قطر بدنه پیچ،  $D_b$  چگالی تخته،  $SWR_f$  توان‌نگهداری پیچ عمود بر سطح و  $SWR_e$  توان‌نگهداری پیچ عمود بر لبه (ضخامت) هستند. تحقیقات زیادی برای ارزیابی دقت معادله‌های ارائه شده توسط Eckelman (معادله‌های ۲ و ۳) و در شرایط مختلف انجام شده‌اند. نتایج نشان داده‌اند که این معادله‌ها توان‌نگهداری پیچ در تخته خرده چوب‌های هوازده را بسیار بیشتر از مقدار واقعی پیش‌بینی می‌کنند. محققان بر این باور بودند که در این نوع تخته‌ها به مرور کیفیت چسبندگی داخلی کاهش یافته و به همین دلیل پیش‌بینی توان‌نگهداری پیچ بر پایه چگالی دقت لازم را ندارد [۵]. به همین دلیل در بررسی‌های دیگری پیش‌بینی توان‌نگهداری پیچ در تخته‌خرده چوب بر پایه چسبندگی درونی آن پیشنهاد شد (۳ و ۵). در نهایت معادله ۴ برپایه چسبندگی داخلی، قطر و عمق نفوذ پیچ برای پیش‌بینی توان‌نگهداری پیچ عمود بر لبه در تخته‌خرده چوب و MDF ارائه شد [۶].

پیش‌بینی استحکام اتصال با پیچ روی اعضاء از تخته چند- لای پهن برگ، بر حسب قطر و عمق نفوذ پیچ رزوه ریز و درشت تدوین شود تا به کمک آن‌ها بتوان استحکام اتصال یاد شده را با دقتی قابل قبول و بدون انجام آزمایش‌های تجربی، پیش‌بینی کرد.

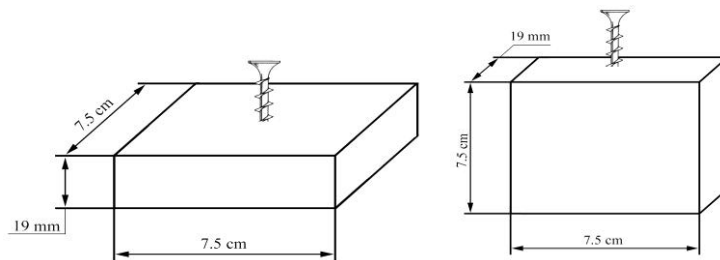
### مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای ساخت نمونه‌های آزمونی از تخته چندلایه (۱۱ لایه) پهن برگ (راش، ممرز و توسکا) با چگالی  $0.73 \text{ g/cm}^3$  و مقاومت خمشی  $66 \text{ N/mm}^2$  از کارخانه نکا چوب ساری تهیه شد [۱۳]. چیدمان لایه‌ها در تخته چندلایه در شکل ۱ ارائه شده است. نخست نمونه‌های آزمونی به اندازه مورد نظر بریده شده و به مدت سه هفته در اتاق مشروط سازی با دمای  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  و رطوبت نسبی  $65 \pm 1$  نگهداری شدند تا به رطوبت ۱۲ درصد برسند. پس از ثابت شدن رطوبت، نمونه‌های آزمونی سوراخکاری شده و سپس پیچ مربوط به هر تیمار در سوراخ‌های تعبیه شده قرار داده شد؛ به گونه‌ای که اتصال مورد نظر ایجاد شود. برای حفر سوراخ‌ها از مته ستونی و برای نصب پیچ از دریل برقی استفاده شد.

کردند. مشاهده‌های این پژوهشگران نشان دادند که با افزایش قطر، عمق نفوذ و شتاب بارگذاری، توان نگهداری پیچ افزایش می‌یابد. با افزایش قطر سوراخ پیش‌ساخته تا اندازه قطر ریشه پیچ، توان نگهداری عمود بر سطح و لبه افزایش می‌یابد و سپس با افزایش قطر سوراخ پیش‌ساخته، توان نگهداری دو جهت یاد شده کاهش می‌یابد. توان نگهداری پیچ عمود بر سطح و لبه در چوب پلاستیک از MDF و تخته خرده چوب بیشتر است [۱۱]. تحقیقات انجام شده توسط Kasal (۲۰۰۸) بر روی تاثیر قطر و عمق نفوذ پیچ بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های ساخته شده از MDF و تخته خرده چوب مشخص کرد که توان نگهداری پیچ بر روی ظرفیت لنگر خمشی اتصال زیر بارگذاری کششی و فشاری موثر است [۱۲]. از این رو داشتن اطلاعات در مورد توان نگهداری پیچ در اتصال‌ها امری ضروری است. در معادله‌های پیشین بیشتر به پیش‌بینی توان نگهداری پیچ بر پایه اندازه هندسی پیچ، عمق نفوذ و قطر سوراخ پیش‌ساخته، چگالی و چسندگی درونی پرداخته‌اند و هیچ گونه بررسی در مورد تاثیر نوع رزوه بر دقت پیش‌بینی استحکام اتصال با پیچ انجام نشده است. بنابراین در این پژوهش سعی شده است که مدلی را برای



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



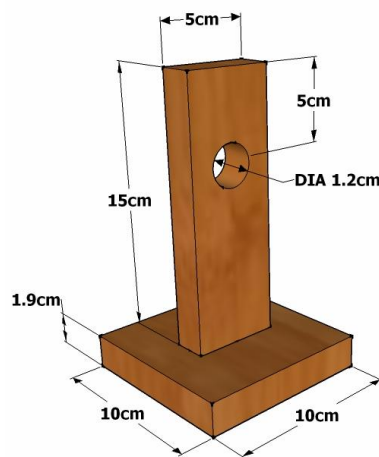
شکل ۲- راستای نفوذ پیچ در تخته چندلا (الف) عمود بر لبه (ب) عمود بر سطح



(الف) (ب) (ج)

شکل ۳- انواع پیچ‌های مورد استفاده در این پژوهش (الف) پیچ خودکار (ب) پیچ پانلی رزوه درشت (ج) پیچ پانلی رزوه ریز

۱. قطر پیچ پانلی ۳/۵، ۴، ۵ میلی‌متر
۲. عمق نفوذ پیچ پانلی ۹، ۱۵، ۲۸ میلی‌متر
۳. نوع رزوه پیچ پانلی (ریز و درشت)



شکل ۴- شمایی از آزمون ساخته شده برای بررسی استحکام اتصال با پیچ

برای بررسی تأثیر نوع پیچ بر استحکام اتصال روی اعضاء از تخته چندلایه، آزمون‌های ساخته شده با پیچ خودکار به قطرهای ۴ و ۵ میلی‌متر و طول ۴ سانتی‌متر آزمون شدند. برای هر تیمار ۵ تکرار در نظر گرفته شد. نتایج به دست آمده با نرم‌افزار SPSS مورد تحلیل آماری قرار گرفتند و از طرح فاکتوریل و آزمون دانکن نیز برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. در این بررسی از مدل‌سازی رگرسیونی به روش توام استفاده شده است. مدل‌های ریاضی ارائه شده با توجه به بیشترین تأثیر هر کدام از عامل‌های متغیر مورد بررسی، وارد مدل شده است. همچنین ضریب تبیین ( $R^2$ ) به عنوان معیاری برای اندازه‌گیری کفایت مدل رگرسیونی به دست آمده تعیین و درج شده است.

آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش به ترتیب برای به دست آوردن رابطه قطر سوراخ پیش ساخته پیچ در لبه و سطح و استحکام اتصال با پیچ بوده است. نخست، مناسب‌ترین قطر سوراخ پیش ساخته برای هر پیچ بر پایه استاندارد EN ۳۲۰ آزمون شد (شکل ۲) [۱۴]. سپس از همان سوراخ پیش ساخته برای آزمون استحکام اتصال استفاده شد. از آنجایی که عمق نفوذ تأثیر بسیار زیادی بر توان نگهداری پیچ دارد؛ برای مقایسه توان نگهداری از عمق نفوذ یکسان برای لبه و سطح استفاده شد. عمق نفوذ برای مقایسه توان نگهداری سطح و لبه برای پیچ‌های مختلف ۱۹ میلی‌متر بود. همچنین طول پیچ‌های مورد بررسی نیز ۵۰ میلی‌متر بود. برای پیچ پانلی و پیچ خودکار با قطر ۴ میلی‌متر، قطر سوراخ پیش ساخته ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵ میلی‌متر، و در پیچ با قطر ۵ میلی‌متر، قطر سوراخ پیش ساخته ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵، ۴، ۴/۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد. برای پیچ پانلی با قطر ۳/۵ میلی‌متر نیز قطر سوراخ پیش ساخته ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد. شکل ۳ پیچ‌های مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد. سپس برای تعیین قطر سوراخ پیش ساخته در جهت عمود بر سطح و لبه (ضخامت)، آزمون‌های آماده شده با دستگاه اینسترون مدل ۴۴۸۶ مورد آزمون قرار گرفتند. سپس توان نگهداری پیچ در جهت عمود بر سطح و لبه با فرمول زیر محاسبه شد:

$$W = \frac{P_{\max}}{L}$$

که در آن  $W$  توان نگهداری پیچ (N/mm)،  $P_{\max}$  نیروی بیشینه (N) و  $L$  عمق نفوذ موثر (mm) است. سپس اثر متغیرهای زیر بر استحکام اتصال شکل ۴ در مطلوب‌ترین قطر سوراخ پیش ساخته بررسی شد [۹].

## نتایج و بحث

بررسی بر استحکام اتصال، جدول تجزیه واریانس در جدول ۴ ارائه شده است.

## گزینش بهترین قطر سوراخ پیش ساخته

میانگین مقادیر توان نگهداری پیچ پانلی و پیچ خودکار در جهت عمود بر سطح و لبه تخته چندلا در قطرهای مختلف سوراخ پیش ساخته مختلف در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است. همان طور که در جدول ۱ ملاحظه می شود، بیشترین توان نگهداری برای پیچ خودکار با قطر ۴ و ۵ میلی متر به ترتیب در سطح (۱۹۲/۲۲ و ۲۰۲/۹۲) و در لبه (۱۷۸/۴۸ و ۱۸۸/۰۴) در قطر سوراخ پیش ساخته ۲/۵ میلی متر بوده است. نتایج جدول ۲ نشان می دهد که بیشترین توان نگهداری برای پیچ پانلی رزوه ریز با قطر ۴، ۳/۵ و ۵ میلی متر به ترتیب در سطح (۱۶۳/۱۶۳، ۱۶۳/۱۶۳ و ۱۹۰/۱۸) و در لبه (۱۴۸/۱۹) و ۱۵۲/۱۵ و ۱۷۸/۶۰) در قطر سوراخ پیش ساخته ۱/۵، ۲ و ۲ میلی متر بوده است. بیشترین توان نگهداری برای پیچ پانلی رزوه درشت با قطر ۴، ۳/۵ و ۵ میلی متر به ترتیب در سطح (۱۷۹/۸۱، ۱۹۱/۱۹ و ۱۹۷/۷۲) و در لبه (۱۵۲/۰۵، ۱۸۱/۲۹ و ۱۷۹/۸۸) در قطر سوراخ پیش ساخته ۱/۵، ۲ و ۲ میلی متر بوده است.

## استحکام اتصال

میانگین مقادیر استحکام اتصال در قطر و عمق نفوذهای مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. همچنین برای مشخص کردن تأثیر هر یک از عامل های متغیر مورد

## اثر قطر پیچ

برای بررسی تأثیر قطر، پیچ پانلی با قطرهای ۳/۵، ۴ و ۵ میلی متر آزمون شده است. قطر سوراخ پیش ساخته برای پیچ های با قطر ۳/۵، ۴ و ۵ میلی متر به ترتیب ۱/۵، ۲ و ۲ میلی متر برابر جدول ۲ در نظر گرفته شد. برابر نتایج به دست آمده جدول ۴، تأثیر مستقل قطر بر استحکام اتصال پیچ پانلی رزوه ریز و درشت در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی دار می باشد. شکل ۵ رابطه بین استحکام اتصال و قطرهای مختلف را نشان می دهد. همان گونه که دیده می شود، بیشترین مقاومت در هر دو نوع رزوه مربوط به پیچ با قطر ۵ میلی متر و کمترین آن مربوط به پیچ با قطر ۳/۵ میلی متر است. علت بیشتر بودن استحکام اتصال پیچ با قطر ۵ میلی متر نسبت به قطر ۳/۵ میلی متر را می توان به سطح درگیر بیشتر پیچ با قطر بالا نسبت به قطر کم دانست. نتایج این قسمت با یافته های Eckelman (۲۰۰۳)، Rostampuor (۲۰۱۱)، Miljkovic (۲۰۰۷) همخوانی دارد [۹، ۴، ۱۱، ۱۰]. به طوری که با تغییر قطر پیچ از ۳/۵ تا ۵ میلی متر، مقدار استحکام اتصال در پیچ پانلی رزوه ریز ۴۳ درصد و در پیچ پانلی رزوه درشت ۳۶ درصد افزایش می یابد.

جدول ۱- توان نگهداری پیچ های خودکار عمود بر سطح و لبه با قطر ۴ و ۵ میلی متر در قطرهای مختلف سوراخ پیش

توان نگهداری (N/mm)		قطر سوراخ پیش ساخته (mm)	قطر پیچ (mm)
عمود بر سطح	عمود بر لبه		
۱۸۶/۰۵ (۱۲/۱۳) <sup>* bc</sup>	۱۷۷/۹۷ (۲۲/۱۶) <sup>b**</sup>	۲	۴
۱۹۲/۲۲ (۲۴/۴۰) <sup>bc</sup>	۱۷۸/۴۸ (۱۰/۷۰) <sup>b</sup>	۲/۵	
۱۸۰/۴۲ (۸/۶۱) <sup>bc</sup>	۱۷۰/۶۷ (۲۲/۰۵) <sup>b</sup>	۳	
۱۶۵/۵۴ (۲۸/۸۶) <sup>b</sup>	۱۶۵/۰۱ (۲۳/۵۶) <sup>b</sup>	۳/۵	
۱۸۹/۴۷ (۷/۷۴) <sup>bc</sup>	۱۷۶/۷۵ (۳۳/۹۹) <sup>b</sup>	۲	
۲۰۲/۹۲ (۱۲/۵۹) <sup>c</sup>	۱۸۸/۰۴ (۱۹/۵۳) <sup>b</sup>	۲/۵	۵
۱۸۵/۸۰ (۱۳/۴۴) <sup>bc</sup>	۱۶۶/۶۰ (۳۲/۱۲) <sup>b</sup>	۳	
۱۸۰/۸۸ (۱۲/۳۰) <sup>bc</sup>	۱۵۷/۴۸ (۱۶/۶۰) <sup>b</sup>	۳/۵	
۱۶۵/۳۰ (۱۷/۰۱) <sup>b</sup>	۱۵۲/۱۹ (۱۵/۲۸) <sup>b</sup>	۴	
۹۸/۱۵ (۱۸/۳۸) <sup>a</sup>	۸۰/۵۱ (۲۲/۶۵) <sup>a</sup>	۴/۵	

<sup>a</sup> اعداد درون پرانتز انحراف معیار تیمارها را نشان می دهد.

<sup>\*\*</sup> گروه بندی دانکن را نشان می دهد.

جدول ۲- توان نگهداری پیچ‌های خودکار عمود بر سطح و لبه با قطر ۴، ۳/۵ و ۵ میلی‌متر در قطرهای مختلف سوراخ پیش ساخته

توان نگهداری (N/mm)				قطر سوراخ پیش ساخته (mm)	قطر پیچ (mm)
عمود بر لبه		عمود بر سطح			
رزوه درشت	رزوه ریز	رزوه درشت	رزوه ریز		
۱۵۲/۰۵(۲۷/۴۹)* <sup>c</sup>	۱۴۸/۱۹(۱۷/۴۴)* <sup>bc</sup>	۱۷۹/۸۱(۱۰/۴۷) d <sup>**</sup>	۱۶۳/۱۷(۱۲/۵۷)cd	۱/۵	۳/۵
۱۴۷/۹۷(۴/۴۸)* <sup>bc</sup>	۱۴۰/۷۱(۱۴/۷۵)* <sup>abc</sup>	۱۷۷/۵۶(۱۶/۱۹) <sup>cd</sup>	۱۵۳/۵۹(۲۵/۲۹)bcd	۲	
۱۴۲/۹۰(۲۴/۰۹)* <sup>abc</sup>	۱۳۹/۵۱(۷/۵۰)* <sup>abc</sup>	۱۶۱/۰۳(۱۷/۴۲) <sup>cd</sup>	۱۵۱/۶۷(۱۰/۳۶)bc	۲/۵	
۱۱۱/۶۷(۲۰/۵۵)* <sup>a</sup>	۱۱۷/۳۱(۲۸/۳۹)* <sup>ab</sup>	۱۱۹/۹۶(۲۲/۵۲) <sup>a</sup>	۱۲۸/۹۷(۱۱/۸۹)ab	۳	
۱۸۱/۲۹(۱۷/۲۹)* <sup>d</sup>	۱۵۲/۱۵(۶/۹۰)* <sup>bc</sup>	۱۹۱/۱۹(۶/۷۶) <sup>c</sup>	۱۶۰/۸۳(۵/۰۳)b	۲	۴
۱۵۷/۴۸(۱۲/۳۶) <sup>cd</sup>	۱۴۱/۹۴(۲۰/۴۱)* <sup>bc</sup>	۱۶۲/۸۴(۲۰/۵۶)* <sup>b</sup>	۱۵۰/۳۲(۱۳/۳۰)b	۲/۵	
۱۴۳/۹۸(۲۴/۶۸)* <sup>bc</sup>	۱۳۲/۲۵(۷/۸۲)* <sup>b</sup>	۱۵۷/۴۸(۱۴/۱۶) <sup>b</sup>	۱۴۸/۹۴(۷/۰۰)b	۳	
۱۲۸/۳۹(۱۸/۳۹)* <sup>b</sup>	۶۳/۱۷(۹/۸۲)* <sup>a</sup>	۱۴۱/۵۴(۲۰/۳۱) <sup>b</sup>	۱۰۹/۹۰(۲۸/۲۴)a	۳/۵	
۱۷۹/۸۸(۱۲/۵۹)* <sup>d</sup>	۱۷۸/۶۰(۹/۶۲)* <sup>d</sup>	۱۹۷/۷۲(۱۲/۳۶) <sup>c</sup>	۱۹۰/۱۸(۱۷/۷۶)de	۲	۵
۱۷۱/۵۶(۱۶/۲۶)* <sup>cd</sup>	۱۶۹/۳۹(۱۸/۶۵)* <sup>cd</sup>	۱۸۹/۵۵(۱۰/۸۴) <sup>de</sup>	۱۸۸/۹۱(۲۵/۶۸)de	۲/۵	
۱۶۹/۵۹(۲۵/۵۶)* <sup>cd</sup>	۱۵۹/۶۰(۱۷/۴۳)* <sup>bcd</sup>	۱۸۷/۳۲(۱۱/۵۶) <sup>de</sup>	۱۷۳/۶۸(۱۱/۱۴)cde	۳	
۱۴۶/۴۰(۲۶/۳۱)* <sup>bcd</sup>	۱۴۲/۰۵(۳۵/۷۸)* <sup>bc</sup>	۱۷۵/۳۰(۳۰/۵۰) <sup>de</sup>	۱۶۱/۶۷(۲۱/۵۴)bcd	۳/۵	
۱۳۸/۴۹(۵/۹۴)* <sup>bc</sup>	۱۲۷/۹۷(۱۲/۶۶)* <sup>b</sup>	۱۵۴/۱۳(۲۵/۷۸) <sup>bc</sup>	۱۳۷/۷۲(۶/۲۲) <sup>b</sup>	۴	
۸۷/۶۵(۳۰/۶۹)* <sup>a</sup>	۶۰/۴۴(۴/۶۹)* <sup>a</sup>	۸۱/۸۰(۲/۵۲) <sup>a</sup>	۶۷/۳۴(۱۷/۸۵) <sup>a</sup>	۴/۵	

اعداد درون پرانتز انحراف معیار تیمارها را نشان می‌دهد. \*\* گروه بندی دانکن را نشان می‌دهد.

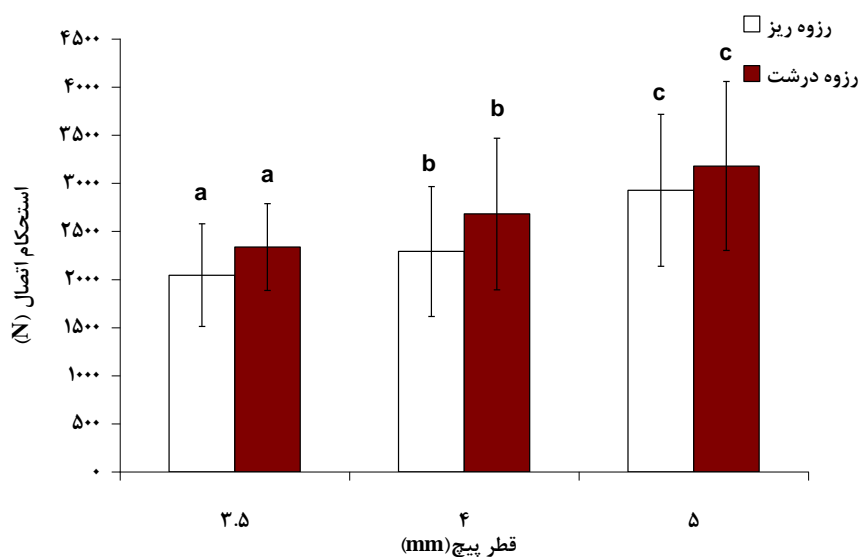
جدول ۳- میانگین استحکام اتصال پیچ پانلی رزوه ریز و درشت

استحکام اتصال (N)		قطر پیچ (mm)	عمق نفوذ (mm)
رزوه درشت	رزوه ریز		
۱۵۱۸/۴۰ (۱۹۳/۳۳)	۱۳۲۴/۲۰ (۲۱۴/۳۸)*	۳/۵	۹
۱۷۲۴/۲۰ (۳۳۹/۴۳۲)	۱۳۴۵/۴۰ (۵۵/۶۶۲)	۴	۹
۱۹۶۰/۸۰ (۲۰۸/۱۸۷)	۱۶۹۹/۵۰ (۱۳۲/۳۴)	۵	۹
۲۲۸۲/۶۰ (۵۳۷/۹۰)	۱۹۳۵/۴۰ (۴۸۶/۰۰)	۳/۵	۱۵
۲۹۰۹/۴۰ (۳۷۷/۳۳۲)	۲۱۶۹/۸۰ (۹۹/۷۸)	۴	۱۵
۳۲۰۷/۰۰ (۳۰۶/۶۳)	۲۸۴۲/۴۰ (۴۲۹/۷۳)	۵	۱۵
۳۰۰۲/۴۰ (۲۳۱/۸۶۱)	۲۸۷۴/۴۰ (۲۷۴/۸۴)	۳/۵	۲۸
۳۶۱۴/۸۰ (۶۲۱/۵۰۲)	۳۵۵۹/۴۰ (۳۲۵/۹۰)	۴	۲۸
۴۳۶۹/۴۰ (۵۵۲/۹۰۲)	۳۹۹۷/۴۰ (۱۹۴/۲۱)	۵	۲۸

اعداد درون پرانتز انحراف معیار تیمارها را نشان می‌دهد.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تأثیر مستقل و متقابل عامل‌های متغیر بر استحکام اتصال (N)

Sig	F	پیچ پانلی رزوه ریز		درجه آزادی	عوامل متغیر مستقل و متقابل
		میانگین مربعات	پیچ پانلی رزوه درشت		
۰/۰۰۰	۱۷/۲۹۴	۱/۳۸۷	۲/۶۹۰	۲	قطر
۰/۰۰۰	۲۹/۵۷۴	۲/۴۰۸	۸۵/۷۵۶	۲	عمق نفوذ
۰/۰۸۶	۲/۲۲۸	۱۸۱۴۵۷/۰۲۲	۳/۱۰۴	۴	قطر * عمق نفوذ
۰/۰۰۰	۱۶/۵۰۱	۲/۶۹۰	۵۰۶۰۹۳/۸۸۹	۲	قطر
۰/۰۰۰	۸۵/۷۵۶	۱/۳۹۸	۳/۱۰۴	۲	عمق نفوذ
۰/۰۲۷	۳/۱۰۴	۵۰۶۰۹۳/۸۸۹	۳/۱۰۴	۴	قطر * عمق نفوذ



شکل ۵- تأثیر قطر پیچ بر استحکام اتصال در پیچ پانلی

(حروف روی نمودار گروه بندی دانکن را نشان می دهند که برای پیچ‌های با رزوه ریز و درشت به طور جداگانه انجام شده است)

#### تأثیر نوع پیچ

برای بررسی تأثیر نوع پیچ از دو نوع پیچ، پیچ پانلی (رزوه ریز و درشت) و خودکار استفاده شده است. نتایج این آزمون در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود بیشترین استحکام اتصال (۴۷/۳۳N) مربوط به پیچ پانلی رزوه درشت با قطر ۵ میلی‌متر و کم‌ترین آن (۳۵/۰۷N) مربوط به پیچ پانلی رزوه ریز است. بر پایه نتایج، پیچ رزوه درشت بالاترین میزان استحکام را داشت که علت آن ممکن است بیشتر بودن ارتفاع رزوه آن باشد که سبب درگیری بهتر پیچ با تخته چندلا می‌شود.

پس از انجام آزمایش‌ها و گردآوری داده‌ها با توجه به معنی‌دار بودن عامل‌های متغیر مورد بررسی، قطر و عمق نفوذ پیچ بر استحکام اتصال پیچ رزوه ریز و درشت، با استفاده از نرم افزار SPSS رابطه‌ی بین قطر، عمق نفوذ و نوع رزوه‌ی پیچ مورد بررسی قرار گرفت و معادله ۶ به صورت معادله توانی برای پیش‌بینی استحکام اتصال به دست آمد. مدل رگرسیونی به دست آمده، نشان داد که تأثیر قطر و عمق نفوذ پیچ در سطح اعتماد ۹۵ درصد بر استحکام اتصال معنی‌دار می‌باشد و عامل‌های قطر و عمق نفوذ پیچ به عنوان متغیرهایی که بیشترین تأثیر را در تغییرات استحکام اتصال دارند، وارد مدل شدند.

#### تأثیر عمق نفوذ پیچ

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که تأثیر مستقل عمق نفوذ بر استحکام اتصال پیچ پانلی رزوه ریز و درشت در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار بوده است. شکل ۶ رابطه بین استحکام اتصال و قطرهای مختلف پیچ پانلی رزوه ریز و درشت را نشان می‌دهد. با افزایش عمق نفوذ از ۹ تا ۲۵ میلی‌متر، استحکام اتصال هر دو نوع رزوه به صورت خطی افزایش می‌یابد. بیشترین مقاومت در هر دو نوع رزوه مربوط به پیچ با عمق نفوذ ۲۸ میلی‌متر و کمترین آن مربوط به پیچ با عمق نفوذ ۹ میلی‌متر است. بنابراین با افزایش عمق نفوذ پیچ، سطح تماس بین اتصال دهنده و اعضای اتصال بیشتر خواهد شد و استحکام اتصال افزایش می‌یابد. نتایج به دست آمده در این قسمت با یافته‌های Rostampour (۲۰۱۱) و Eckelman (۲۰۰۳) (۱۹۷۵) هماهنگ است [۱۱،۹،۴]. آنان نیز در پژوهش‌شان به این موضوع دست یافتند که با افزایش عمق نفوذ استحکام اتصال پیچ افزایش می‌یابد. با تغییر عمق نفوذ پیچ از ۹ تا ۲۸ میلی‌متر، مقدار استحکام اتصال در پیچ پانلی رزوه ریز ۱۳۶ درصد و در پیچ پانلی رزوه درشت ۱۱۱ درصد افزایش می‌یابد.

تیبین ( $R^2$ ) بسیار بالایی می‌باشد و این ضریب نشان می‌دهد که با حدود اعتماد ۹۱ درصد تغییرات استحکام اتصال پیچ تحت تاثیر دو عامل قطر و عمق نفوذ پیچ می‌باشد. می‌توان این معادله‌ها را به عنوان رابطه تجربی برای پیش‌بینی استحکام اتصال پیچ رزوه ریز در تخته چندلا استفاده کرد. همچنین تجزیه و تحلیل مقادیر پیش‌بینی شده از مدل ارائه شده، معادله ۸ برای قطر و عمق نفوذ پیچ رزوه درشت با ضریب تبیین ( $R^2$ ) رگرسیونی نشان می‌دهد که مدل یاد شده توانایی پیش‌بینی تغییرات استحکام اتصال پیچ را در حدود ۷۱ درصد دارد. و با مقادیر تجربی با یک تقریب به نسبت خوب همخوانی دارد؛ به طوری که مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر واقعی نزدیک می‌باشند. از این رو جدول ۵، میانگین بیشینه استحکام اتصال میزان‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده با معادله های ۷ و ۸ را نشان می‌دهد، نتایج پیش‌بینی شده همخوانی بسیار خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده دارند.

$$W_{f-c} = KD^a P^b$$

معادله ۶-

در این معادله  $W_{f-c}$  استحکام اتصال پیچ رزوه ریز و درشت،  $D$  قطر پیچ و  $P$  عمق نفوذ پیچ  $K$  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 و معادله های ۷ و ۸ به دست آمدند.

معادله ۷-

$$R^2 = 0.91 \quad \text{ضریب تبیین}$$

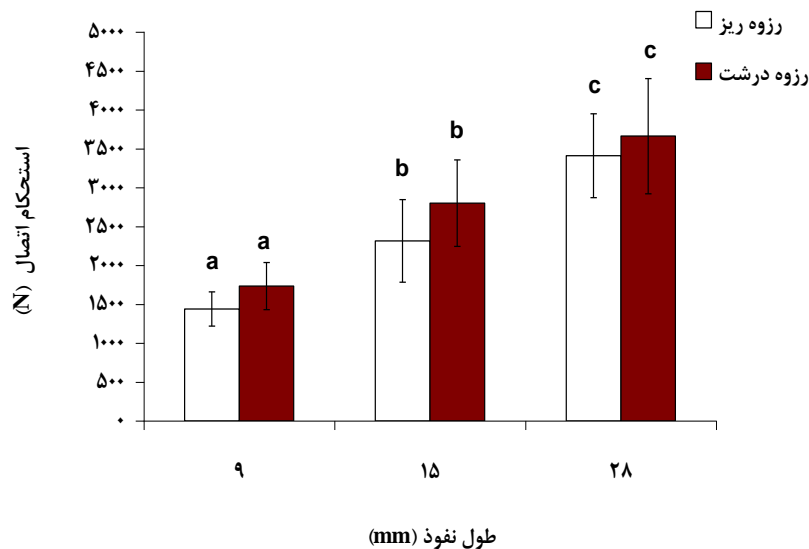
$$W_f = 0.086 \times D^{0.942} \times P^{0.704}$$

معادله ۸-

$$R^2 = 0.71 \quad \text{ضریب تبیین}$$

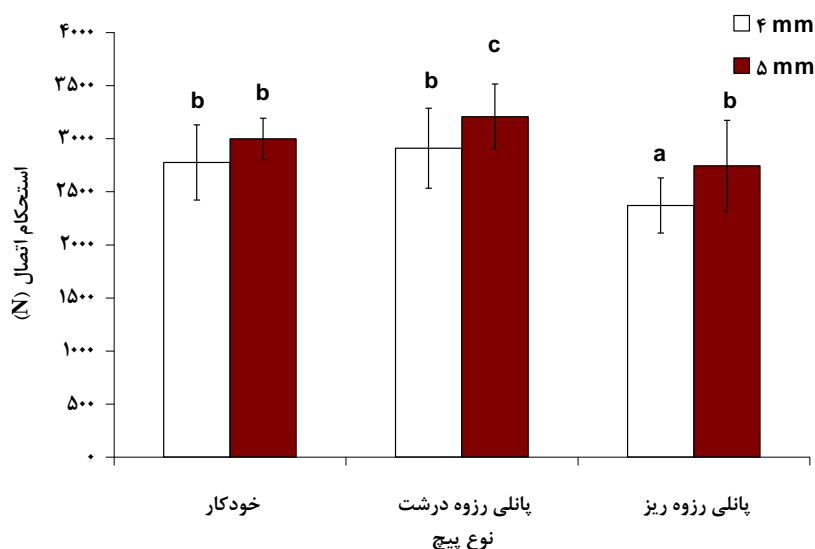
$$W_c = 0.189 \times D^{0.726} \times P^{0.577}$$

معادله های ۷ و ۸ بیانگر رابطه عامل‌های متغیر قطر و عمق نفوذ پیچ رزوه ریز و درشت با استحکام اتصال در تخته چندلا می‌باشند، که بر پایه مدل ۲ دارای ضریب



شکل ۶- تأثیر عمق نفوذ بر استحکام اتصال در پیچ پانلی





شکل ۷- مقایسه استحکام اتصال در پیچ خودکار و پیچ پانلی رزوه ریز و درشت در قطرهای مختلف

جدول ۵- میانگین مشاهده و پیش بینی شده بیشینه استحکام اتصال پیچ پانلی رزوه ریز و درشت

استحکام اتصال (N)				قطر پیچ (mm)	عمق نفوذ (mm)
رزوه درشت		رزوه ریز			
پیش بینی شده	مشاهده شده	پیش بینی شده	مشاهده شده		
۱۶۶/۷۴	۱۵۱۸/۴۰	۱۳۱/۴۶	۱۳۲۴/۲۰	۳/۵	۹
۱۸۳/۷۱	۱۷۲۴/۲۰	۱۴۹/۰۸	۱۳۴۵/۴۰	۴	۹
۲۱۶/۰۲	۱۹۶۰/۸۰	۱۸۳/۹۵	۱۶۹۹/۵۰	۵	۹
۲۲۳/۹۰	۲۲۸۲/۶۰	۱۱۸/۳۵	۱۹۳۵/۴۰	۳/۵	۱۵
۲۴۶/۶۹	۲۹۰۹/۴۰	۲۱۳/۶۰	۲۱۶۹/۸۰	۴	۱۵
۲۹۰/۰۸	۳۲۰۷/۰۰	۲۶۳/۵۷	۲۸۴۲/۴۰	۵	۱۵
۳۲۰/۹۷	۳۰۰۲/۴۰	۲۹۲/۲۸	۲۸۷۴/۴۰	۳/۵	۲۸
۳۵۳/۶۴	۳۶۱۴/۸۰	۳۳۱/۴۶	۳۵۵۹/۴۰	۴	۲۸
۴۱۵/۸۳	۴۳۶۹/۴۰	۴۰۹/۰۰	۳۹۹۷/۴۰	۵	۲۸

نتیجه گیری

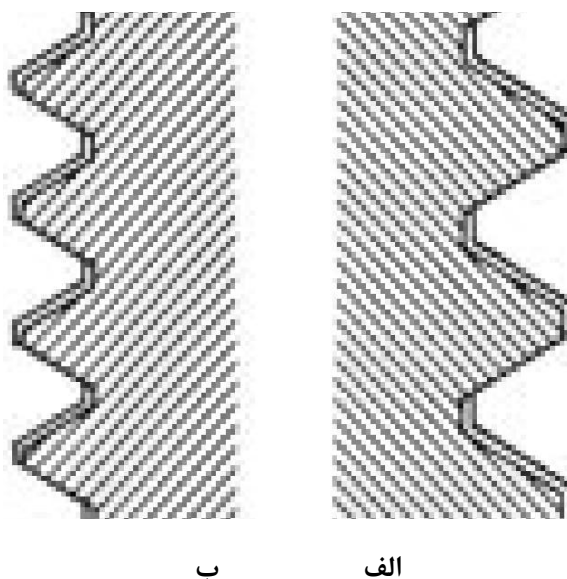
در هنگام نصب انواع پیچ‌ها برای جلوگیری از ترک خوردن ماده مورد استفاده در ساخت سازه مبلمان چه با چوب (به ویژه چوب‌های با چگالی بیش از  $0.4 \text{ g/cm}^3$  و چه با چندسازه‌های چوبی، ایجاد یک سوراخ پیش ساخته ضروری است. تحقیقاتی در این زمینه برای انواع اوراق فشرده چوبی انجام شده‌اند که از آن بین می‌توان به Eckelman (۱۹۷۳ و ۱۹۷۵) (برای تخته خرده چوب و

(MDF) و Rostampuur (۲۰۱۱) (برای چوب پلاستیک) اشاره کرد [۶، ۴، ۱۱]. تاحدودی همه این تحقیقات ایجاد یک سوراخ پیش ساخته را برای نصب پیچ ضروری دانسته‌اند. قطر سوراخ پیش ساخته برای نصب هر پیچ از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر توان نگهداری اتصال‌های ساخته شده با انواع پیچ است. تحقیقات یاد شده نشان داده‌اند که مناسب‌ترین قطر سوراخ پیش ساخته از نظر مقاومتی دارای قطری نزدیک قطر ریشه پیچ است. هر چه

استحکام اتصال پیچ در تخته چندلا با افزایش قطر و عمق نفوذ افزایش یافته است. با افزایش قطر و عمق نفوذ پیچ، سطح تماس بین اتصال دهنده و اعضای اتصال بیشتر خواهد شد و استحکام اتصال افزایش می‌یابد [۱۲].

نتایج مربوط به مقایسه استحکام اتصال در پیچ خودکار با پیچ پانلی رزوه ریز و درشت نشان می‌دهد که استحکام اتصال پیچ خودکار از پیچ پانلی رزوه ریز بیشتر بوده ولی از پیچ رزوه درشت کم‌تر است. بر پایه نتایج، بیشترین استحکام اتصال به پیچ پانلی رزوه درشت با قطر ۵ میلی‌متر و عمق نفوذ ۲۸ میلی‌متر تعلق دارد. بنابراین از میان اتصال‌های بررسی شده، پیچ یاد شده برای ایجاد اتصالی مقاوم در تخته چندلا پیشنهاد می‌شود. همچنین میزان دقت مدل پیش‌بینی استحکام اتصال با پیچ به عامل‌های زیادی از جمله شمار و نوع متغیرهای به کار گرفته شده، روش مورد استفاده، ویژگی محصول نهایی و... بستگی دارد. بنابراین پس از جمع‌آوری داده‌های لازم به کمک این داده‌ها مدل‌های مطلوبی برای پیش‌بینی استحکام اتصال پیچ رزوه ریز و درشت به ترتیب  $W_f = 0.086 \times D^{0.942} \times P^{0.704}$  و  $W_c = 0.189 \times D^{0.726} \times P^{0.577}$  بر پایه قطر و عمق نفوذ به دست آمدند. نتایج به دست آمده از مدل‌سازی پیش‌بینی استحکام اتصال برای مشخصه‌های قطر و عمق نفوذ و نوع رزوه نشان می‌دهد که مقادیر پیش‌بینی شده توسط این مدل، همخوانی بسیار خوبی را با مقادیر تجربی دارند. بنابراین این مدل‌ها نشان می‌دهند که افزایش دو عامل قطر و عمق نفوذ پیچ مهم‌ترین عامل‌ها در بهبود توان‌نگهداری اتصال پیچ می‌باشند. نکته حایز اهمیت این است که مقادیر استحکام اتصال پیچ را می‌توان با روش‌های مناسب و بی‌زیان به دست آورد و مقدار استحکام را تعیین کرد. در حالی که برای به دست آوردن استحکام به طور تجربی تنها می‌توان آزمایش‌های مخرب انجام داد. بنابراین، هر تلاشی برای کاستن اهمیت انجام آزمایش‌های زیانبار با ارزش است.

از آن مقدار کمتر باشد سبب لهیدگی عضو شده و هر چه از آن مقدار بیشتر شود سبب کاهش سطح درگیر پیچ در اعضای اتصال می‌شود که در هر دو صورت توان‌نگهداری اتصال‌های ساخته شده با انواع پیچ کاهش می‌یابد. پس با توجه به موارد یاد شده لازم بود برای هر پیچ مناسب‌ترین قطر سوراخ پیش ساخته از نظر مقاومتی برای پیچ‌های مورد بررسی در این پژوهش تعیین شود تا ساخت اتصال با این پیچ‌ها در مناسب‌ترین قطر سوراخ پیش ساخته انجام شود. نتایج نشان دادند مناسب‌ترین قطر سوراخ پیش ساخته برای پیچ خودکار بزرگ‌تر از پیچ‌های پانلی رزوه ریز و درشت است. دلیل آن را می‌توان بزرگ‌تر بودن قطر ریشه پیچ خودکار نسبت به پیچ پانلی دانست. در بین دو نوع شکل رزوه مورد بررسی، پیچ با رزوه درشت بالاترین میزان توان‌نگهداری را داشت که علت بیشتر بودن توان‌نگهداری اتصال ساخته شده با پیچ رزوه درشت را به ارتفاع بیشتر رزوه آن در مقایسه با پیچ رزوه ریز نسبت داد که سبب درگیری بهتر پیچ در اعضای اتصال می‌شود (شکل ۸).



شکل ۸- ارتفاع رزوه، عامل درگیری بهتر پیچ رزوه درشت نسبت به رزوه ریز (الف) رزوه درشت (ب) رزوه ریز

## مراجع

- [1] Maleki, S., Dalvand, M., Haftkhani, A.R., and Faezipour, M., 2013. The effect of adhesive types and dovetail fitting height on stress carrying capacity of miter frame corner joints constructed of particleboard and medium density fiberboard (MDF), *Journal of Forest and products*, 66(2): 203-214. (In Persian).
- [2] Ebrahimi, G., 2007. Engineering design of furniture structure. Tehran university publication, 491 Pages. (In Persian).
- [3] Johnson, J.W., 1967. Screw-holding ability of particleboard and plywood. Forest Research Laboratory Report No. T-22, School of Forestry, Oregon State University, Corvallis, OR.10.
- [4] Eckelman, C.A., 1975. Screw holding performance in hardwoods and particleboard, *Forest Products Journal*, 25(6): 30-35.
- [5] Barnes, H.M., and Lyon, D.E., 1978. Fastener withdrawal loads for weathered and unweathered particleboard decking, *Forest Products Journal*, 28(4): 33-36.
- [6] Eckelman, C.A., 1973. Holding strength of screws in wood and wood-based materials. Research Bulletin No. 895, Purdue University Agricultural Research Station, W. Lafayette, IN. 15 pp.
- [7] Rajak, Zaini, and C. A. Eckelman. 1993. Edge and Face Withdrawal Strength of Large Screws in Particleboard and Medium Density Fiberboard, *Forest Products Journal*, 43(4):25-30.
- [8] Semple, K.E., and Smith, G.D., 2006. Prediction of internal bond strength in particleboard from withdrawal screw resistance models, *Wood and Fiber Science*, 38(2): 256 – 267.
- [9] Eckelman, C.A., 2003. Textbook of product engineering and strength design of furniture. West Lafayette, Purdue University Press, USA, 99 p.
- [10] Miljkovicl, J., Popovic, M., Momcilovic, M.D., and Grmusa, I.G., 2007. Edge screw withdrawal resistance in conventional particleboard and OSB- influence of the particles type, *Bibld Journal* (6): 109-117.
- [11] Haftkhani, A.R., Ebrahimi, G.H., Tajvidi, M. and Layeghi, M., 2011. Investigation on withdrawal resistance of various screws in face and edge of wood-plastic composite panel, *Materials and Design*, 32: 4100-4106
- [12] 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.
- [13] Standard Test method for evaluating properties of Wood-base fiber and particle panel materials. ASTM D 1037-96. Pp: 137-166.
- [14] Standard Test Methods for determination of resistance to axial withdrawal of screws, German version, EN 320,1993.

## The predicting ultimate of joint withdrawal resistance constructed of plywood with regression models application according to diameter and penetrating depth

### Abstract

The goal of this study was to present regression models for predicting resistance of joints made with screw and plywood members. Joint members were out of hardwood plywood that were 19 mm in thickness. Two types of screws including coarse and fine thread drywall screw with 3.5, 4 and 5mm in diameter and sheet metal screw with 4 and 5mm were used. Results have shown that withdrawal resistance of screw was increased by increasing of screws, diameter and penetrating depth. Joints fabricated with coarse thread drywall screws were higher than those of fine thread drywall screws. Finally, average joint withdrawal resistance of screwed could be predicted by means of the expressions  $W_c=2.127\times D^{1.072}\times P^{0.520}$  for coarse thread drywall screws and  $W_f=1.377\times D^{1.156}\times P^{0.581}$  for fine thread drywall screws by taking account the diameter and penetrating depth. The difference of the observed and predicted data showed that developed models have a good correlation with actual experimental measurements.

**Keyword:** Joint withdrawal resistance, Plywood, Screw, Drywall screw, Regression model

S. Maleki<sup>1\*</sup>  
M. Faezipour<sup>2</sup>  
Gh. Ebrahimi<sup>3</sup>  
M. Layeghi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. student, <sup>2 and 3</sup> Professor and  
<sup>4</sup> Assistant Professor of wood  
technology, department of wood  
science and technology, University of  
Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:  
s.maleki@ut.ac.ir

Received: 2011.12.07  
Accepted: 2012.04.09