

بررسی مقاومت انفصالی اتصال T شکل چوب راش و دوبل ممرز

مجتبی سلطانی¹، عبدالله نجفی²، کوروش محمدپور³

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی مقاومت انفصالی اتصال با دوبل چوبی انجام گرفت. بدین منظور دوبل‌هایی از جنس ممرز (*Carpinus betulus*) به قطر 10 میلی‌متر و طول 80 میلی‌متر انتخاب و با قطعاتی از چوب راش (*Fagus orientalis*) اتصالات T شکل ساخته شد. نمونه‌های ساخته شده در شرایط رطوبت 10 و 15 درصد قرار گرفتند تا به تعادل برسند. آزمون انفصالی بر نمونه‌های آزمونی انجام گرفت و تاثیر سطح اتصال (مماسی یا شعاعی) و قطر سوراخ (هم اندازه با قطر دوبل و نیم میلی‌متر کمتر) بر مقاومت انفصالی در دو سطح رطوبت تعادل (10 و 15 درصد) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در رطوبت تعادل 15 درصد، مقاومت انفصالی به طور نامحسوسی کاهش یافت. همچنین قطر سوراخ به طور معنی‌داری بر مقاومت انفصالی موثر بود به طوری که در نمونه‌های با قطر سوراخ کوچک‌تر از قطر دوبل، مقاومت افزایش یافت. تاثیر سطح اتصال بر مقاومت انفصالی نیز معنی‌دار بوده و سطح شعاعی، مقاومت بیشتری را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: اتصال، دوبل، رطوبت تعادل، سطح اتصال، مقاومت انفصالی

-
- 1- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، mo_sltly@yahoo.com
 - 2- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، ab_najafi@yahoo.com
 - 3- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

مقدمه

تا چندی پیش طراحی مهندسی مبلمان چندان مورد توجه نبود، اما تقاضای مصرف کنندگان برای فرآورده‌های با قابلیت اطمینان بیشتر، فشار دولت‌ها برای تضمین کیفیت مبلمان، اقتصاد روبه رشد مصالح و همچنین کمیاب بودن درودگران ماهری که با درک مستقیم، مبلمان مرغوبی بسازند، همگی عواملی هستند که زمینه‌های رشد طراحی مهندسی را فراهم آورده و بر اهمیت آن افزودند. بنابر این به منظور استفاده معقول از این ماده پرارزش در صنعت و افزایش کیفیت و عمر مفید مبلمان، یکی از راه‌ها بالا بردن عمر مفید اتصالات می‌باشد. علی‌رغم این‌که در چوب و فرآورده‌های آن به سهولت می‌توان اجزای سازه‌ها را با دامنه‌ی وسیعی از اتصال دهنده‌ها، شامل چسب و اتصال دهنده‌های مکانیکی به یکدیگر متصل نمود، اما در بسیاری از آنها دامنه عمل محدود می‌باشد. در اغلب سازه‌های چوبی اتصالات یکی از مهمترین اجزا هستند اما کمترین شناخت نسبت به آن‌ها وجود دارد. اتصالات ممکن است تماما از عضوهای چوبی تشکیل شده باشند. اما در برخی موارد ممکن است اتصال بین چوب و فولاد یا دیگر اعضای فلزی یا غیر فلزی ایجاد شده باشد [11]. یک اتصال مکانیکی از دو یا چند ماده که با یک یا چند اتصال دهنده مکانیکی به یکدیگر متصل گردیده‌اند، تشکیل شده است [1].

اتصالات مکانیکی به اتصالاتی اطلاق می‌شوند که اتصال دهنده به داخل چوب نفوذ می‌کند [1]. دابل چوبی به تمام اتصال دهنده‌های چوبی اطلاق می‌شود که در اتصالات دو عضوی به‌عنوان جزو سوم در داخل چوب نفوذ داده می‌شود تا باعث استحکام بیشتر اتصال گردد. حال ممکن است این اتصال دهنده سه گوش، چهار گوش، استوانه-ای (پین) و یا به شکل‌های مختلف دیگر باشد. اما اتصال دهنده پین طبق تعریف آیین نامه ملی آمریکا (NDS)¹ به اتصال دهنده‌های با شکل کلی استوانه اطلاق می‌شود [9]. پین یا دابل چوبی به‌خاطر ارزان بودن و آسانی کار با آن در صنعت مبلمان مصرف فراوان دارد. دابل برای ساخت اتصال با هر شکلی از اعضای اتصال و تحت هر زاویه‌ای به کار می‌رود. فقط اعضای اتصال در محل تماس باید جای تعبیه سوراخ دابل را داشته باشند. پین برای اتصالاتی که در معرض نیروهای برشی، انفصالی، لنگر خمشی و پیچشی قرار دارند به‌کار می‌رود، ولی به پین نیروی برشی و محوری وارد می‌شود. در ساخت اتصال ممکن است از یک یا دو پین استفاده شود، اما در بیشتر موارد از دو پین (پین مضاعف) استفاده می‌گردد [1]. زیرا اتصالات با یک پین مناسب لنگر پیچشی نیستند. در طراحی مبلمان به-خصوص صندلی‌ها، بنای طراحی پین برای تحمل تنش‌های حاصل از نیروهای برشی و انفصالی خواهد بود.

پین چوبی در زمان اتصال حتما باید آغشته به چسب شود و پین بدون چسب عملا توجیه مهندسی ندارد. در ساخت مبلمان و به‌خصوص در مواردی که زیبایی سطح و هم‌رنگی آن با چوب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، مانند مبل استیل، باید از چسب و پین چوبی (دابل) استفاده نمود. همین سادگی عمل باعث گردیده که امروزه در صنایع چوب اکثر مصنوعات که به‌راحتی می‌توانند با اتصال کام و زبانه به یکدیگر متصل شوند را با دابل چوبی می‌سازند. یکی از مشکلاتی که برای این‌گونه سازه‌ها به‌وجود می‌آید این است که پین‌های چوبی به‌کار رفته در اتصالات به‌علت تغییر ابعاد در اثر همکشیدگی و واکشیدگی در جای خود اصطلاحاً لق شده و استحکام سازه را کم می‌کند. یکی از عوامل مهم ایجاد این عیب در اثر انتقال سازه از مناطق خشک به مناطق مرطوب می‌باشد که موجب تغییر ابعاد و در نتیجه ضعیف شدن اتصالات می‌گردد [1].

مطالعاتی نیز در مورد تنش‌های وارد بر اتصال در چوب و فرآورده‌های مرکب آن انجام شده است. وینیزتروف² (1995) تأثیر جهت‌گیری اتصال را نسبت به دوایر رویش سالیانه در تحمل بار دابل بررسی کرد. نتایج این بررسی

¹ National Design Specification for wood structures

² Winistrofer

نشان داد که جهت گیری اتصال نسبت به جهت دواير رویش سالیانه (شعاعی، مماسی، طولی) بر مقاومت اتصال در حالت بارگذاری جانبی تأثیر دارد [12]. رامر و وینیزتروف¹ (1999) به بررسی اثر رطوبت بر مقاومت تکیه‌گاهی پینی پرداختند. نتایج نشان داد که مقاومت تکیه‌گاهی پینی همانند دیگر ویژگی‌های چوب با کاهش رطوبت، افزایش پیدا می‌کند و رابطه بین مقاومت تکیه‌گاهی پینی و رطوبت چوب مستقل از رطوبت و نوع گونه چوب است [10]. اکلمان² و همکاران (2002) مقاومت خمشی و کششی سازه‌های با اتصال دوبل را در تخته لایه و تخته تراشه³ ارزیابی کردند [7]. بر اساس نتایج این تحقیق در خصوص نمونه‌هایی با یک اتصال دوبل، مقاومت کششی به قطر و طول نفوذ دوبل و دانسیته تخته وابسته است. نوری (1382) به بررسی مقاومت کششی و برشی اشکال مختلف اتصال دوبل گونه ممرز در تخته‌خرده‌چوب پرداخت. نتایج نشان داد اثر مستقل عامل قطر بر مقاومت اتصال در برابر بار کششی و اثر متقابل عوامل نوع سطح، قطر و آزادی دوبل در سوراخ تخته بر مقاومت اتصال در برابر بار کششی معنی‌دار بودند [5]. نوری و غفرانی (1385) به بررسی مقایسه‌ای مقاومت برشی اتصال دوبل چوبی و پیچ در تخته‌خرده‌چوب روکش‌دار و بدون روکش پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که اتصالات پیچ بیشترین مقاومت برشی را نسبت به دوبل چوبی نشان دادند [6]. لئیاری و همکاران (1384) اثر قطر دوبل، عمق نفوذ دوبل در اتصال، صاف و آجدار بودن دوبل و آزادی دوبل در سوراخ تخته بر مقاومت برشی اتصال دوبل در تخته‌خرده‌چوب پرداختند. نتایج مطالعات آنها نشان داد، مقاومت اتصال دوبل در برابر بار برشی در دوبل‌های آجدار زیادتر از دوبل‌های صاف است، همچنین با توجه به یکسان بودن کیفیت دوبل‌های مورد استفاده مقاومت برشی اتصال دوبل‌های با قطر بیشتر زیادتر خواهد بود [4].

نظر به اهمیت مصرف دوبل چوبی به‌عنوان اتصال دهنده در اتصالات خاص مانند قیدهای مبل استیل به خاطر انحنایی که در آن وجود دارد، بررسی مقاومت انفصالی این اتصال دهنده در رطوبت تعادل‌های مختلف و سطوح اتصال شعاعی یا مماسی و نیز قطر متفاوت سوراخ هادی دوبل در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

چوب: در این تحقیق از چوب راش برای ساخت اتصال T شکل استفاده شده است که از سری کلنگا بخش هفت خال طرح جنگلداری شرکت نکا چوب تهیه شده است. رطوبت چوب راش قبل از ساخت اتصال، در کوره چوب خشک کنی به 10% کاهش یافت.

دوبل چوبی: از دوبل گونه ممرز⁴ آجدار که به‌صورت آماده مصرف در بازار عرضه می‌شود، استفاده گردید. این دوبل‌ها فاقد هر گونه معایب ساختاری و کاملاً راست تار بوده‌اند. قطر دوبل‌های چوبی متداول در بازار بین 6 تا 16 میلی‌متر است که در این بررسی از دوبل به قطر 10 میلی‌متر و آجدار با آج ریز استفاده شده است.

چسب: چسب مورد استفاده در این تحقیق پلی‌وینیل استات (چسب چوب سفید نجاری) بوده که با نام تجاری مشهد عرضه می‌شود. این چسب مورد توجه استادکاران چوب بوده، ضمن این‌که بعد از خشک شدن بی‌رنگ می‌شود.

- روش ساخت نمونه

اتصال T شکل، از چوب راش با رطوبت 10 درصد ساخته شد که شامل یک عضو افقی به ابعاد 35 × 52 × 140 میلی‌متر و عضو قائم به ابعاد 35 × 52 × 100 میلی‌متر بود، لازم به ذکر است که این ابعاد مقطع در

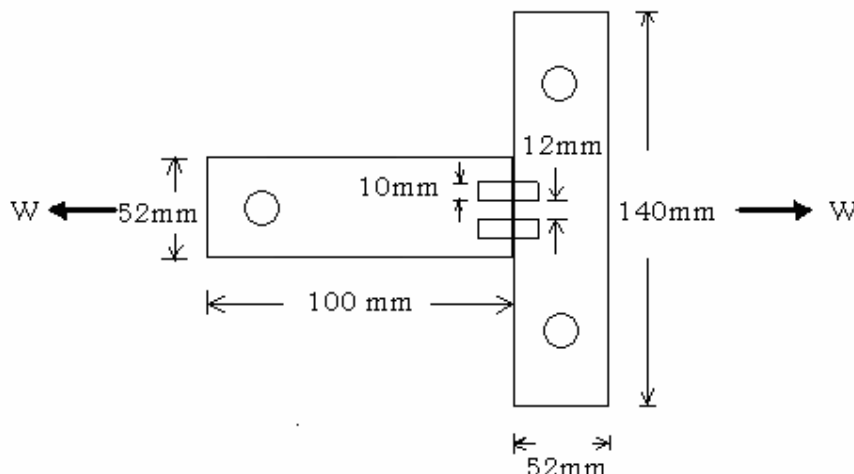
¹ Rammer and winistrofer

² Eckelmann

³ Oriented Strand Board

⁴ *Carpinus betulus*

صنایع مبلمان متداول است. ضمن این که در هنگام برش صفحه اتصال، نیمی از چوب‌ها در جهت مماسی و نیمی دیگر در جهت شعاعی انتخاب گردیدند. دوپل چوبی به طول ۸ سانتی‌متر بریده شد و سپس به مدت ۲۴ ساعت در اتو در دمای 103 ± 2 درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا خشک شوند. برای ساخت اتصالات، با استفاده از مته‌هایی با قطر مساوی قطر دوپل (۱۰ میلی‌متر) و همچنین ۰/۵ میلی‌متر کمتر از قطر دوپل (۹/۵ میلی‌متر) سوراخ‌هایی تعبیه شد، به طوری که فاصله دو سوراخ نسبت به یکدیگر ۱۲ میلی‌متر و طول سوراخ (عمق نفوذ) دوپل‌ها در تمام نمونه‌ها ۴۰ میلی‌متر یا ۴ برابر قطر دوپل انتخاب گردید.



شکل ۱- نمونه آزمون انفصالی با اندازه‌ها و محل دوپل‌ها

برای مونتاژ نمونه‌ها، ابتدا دوپل‌ها به چسب آغشته شدند و داخل سوراخ‌های تعبیه شده قرار گرفتند. سطوح تماس دو قطعه اتصال نیز به چسب آغشته شده و به یکدیگر متصل شدند تا یک نمونه T شکل ساخته شود (شکل ۱). سعی گردید که آغستگی چسب بر دوپل و دو سطح نمونه‌ها یکنواخت باشد. نمونه‌ها پس از مونتاژ در سه تکرار به مدت ۲۰ ساعت در دمای بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد به صورت عمودی در پرس هیدرولیک نجاری با فشار ۱۶ bar قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها بر اساس متغیرهای تحقیق به دو گروه تقسیم شدند، گروه اول در شرایط محیطی منطقه کلاچای استان گیلان که رطوبت تعادل آنجا حدود ۱۵٪ می‌باشد قرار دادند تا به تعادل برسند ولی گروه دوم در اتاق کليماتيزه قرار گرفتند تا در رطوبت ۱۰٪ تثبیت شوند. نمونه‌ها به مدت چهار هفته در شرایط ذکر شده نگه داشته شدند تا به تعادل برسند، سپس نمونه‌ها در کیسه‌های نایلونی نگهداری شدند تا مقاومت انفصالی آنها اندازه‌گیری شود.

- آزمون انفصالی

برای آزمایش مقاومت اتصالات ساخته شده در برابر بار انفصالی از دستگاه تست مکانیکی DARTEC استفاده شد (شکل ۲). اسکلتی طراحی شد تا در نمونه تنها نیروی انفصالی ایجاد کند و سوراخ‌هایی نیز بر روی نمونه‌ها تعبیه گردید به طوری که این سوراخ‌ها اختلالی در مقاومت نمونه‌ها ایجاد نکند (شکل ۱). با توجه به مطالعه اکلمن و همکاران، سرعت بارگذاری ۱/۲ میلی‌متر در دقیقه انتخاب گردید [7].



شکل 2- نمونه آزمون انفصالی در دستگاه DARTEC

- طرح آماری

اثر مستقل و متقابل متغیرهای مورد مطالعه بر مقاومت انفصالی در اتصال ساخته شده در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از تجزیه واریانس و آزمون فاکتوریل با اطمینان 95% انجام پذیرفت.

نتایج

آنالیز واریانس اثر مستقل و متقابل متغیرهای مورد بررسی بر مقاومت انفصالی در جدول 1 مشاهده می‌شود. اثر مستقل سطح اتصال (مماسی یا شعاعی)، قطر سوراخ و اثرات متقابل سطح اتصال بر رطوبت تعادل و نیز رطوبت تعادل بر قطر سوراخ به لحاظ آماری با اطمینان 95% معنی دار می‌باشد.

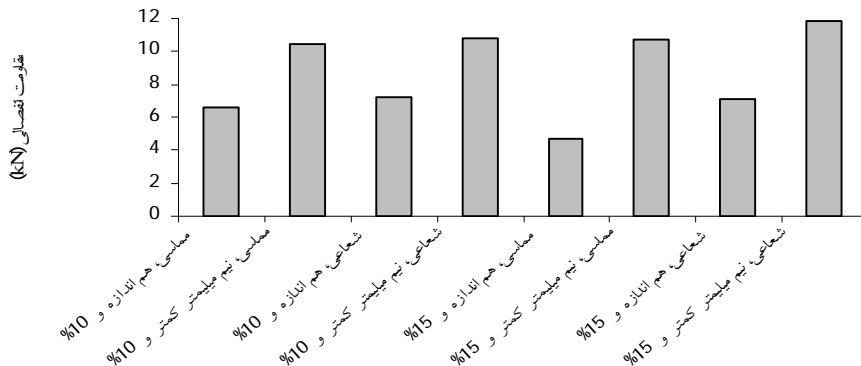
جدول 1- آنالیز واریانس اثر مستقل و متقابل متغیرهای مورد بررسی بر مقاومت انفصالی

معنی داری	P	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منابع تغییرات
*	0/002	14/56	7/97	1	7/97	سطح اتصال
n.s	0/526	0/42	0/23	1	0/23	رطوبت تعادل
*	0/00	228/68	125/17	1	125/17	قطر سوراخ
*	0/048	4/572	2/503	1	2/503	سطح اتصال × رطوبت تعادل
n.s	0/218	1/646	0/901	1	0/901	سطح اتصال × قطر سوراخ
*	0/016	7/207	3/945	1	3/945	رطوبت تعادل × قطر سوراخ
n.s	0/469	0/551	0/302	1	0/302	سطح اتصال × رطوبت تعادل × قطر سوراخ
			8/758	16	8/758	خطا
			1960/255	24	1960/255	کل

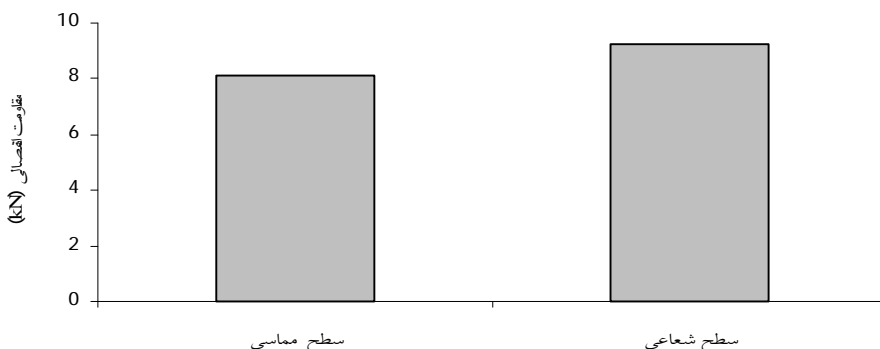
* : معنی دار با اطمینان 95%

ns : عدم معنی داری

در شکل 3 مقاومت انفصالی نمونه‌ها مشاهده می‌شود. کمترین مقدار مقاومت انفصالی در نمونه‌های مماسی، با سوراخ هم اندازه و در رطوبت تعادل 15% و بیشترین مقدار در نمونه‌های با سطح شعاعی و قطر سوراخ نیم میلی‌متر کمتر، در رطوبت 15% مشاهده شدند. در تمام نمونه‌ها با کاهش قطر سوراخ، مقادیر مقاومت انفصالی افزایش نشان دادند.

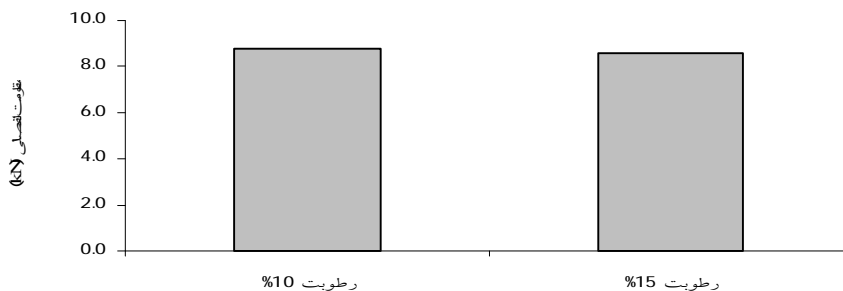


شکل 3- مقاومت انفصالی نمونه‌های آزمون



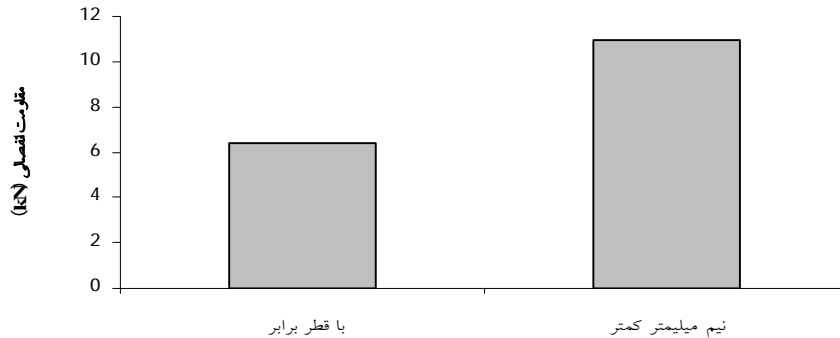
شکل 4- اثر سطح اتصال بر مقاومت انفصالی

شکل 4 اثر سطح اتصال بر مقاومت انفصالی نمونه‌ها را نشان می‌دهد، در نمونه‌هایی که اتصال مقطع عرضی عضو افقی بر سطح شعاعی عضو عمودی انجام شده‌است، مقاومت انفصالی بیشتری نسبت به نمونه‌هایی که اتصال در مقطع عرضی عضو افقی بر سطح مماسی عضو عمودی انجام شد، نشان دادند. اثر مستقل دو سطح اتصال بر مقاومت انفصالی معنی‌دار بود (جدول 1).



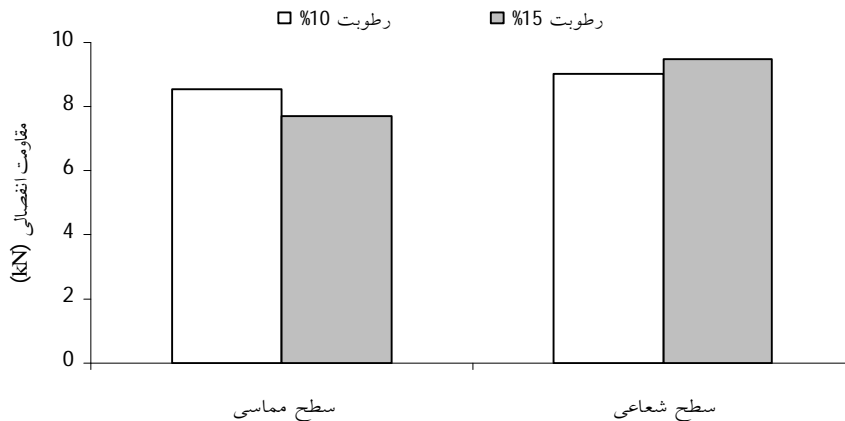
شکل 5- اثر رطوبت تعادل بر مقاومت انفصالی

در شکل 5 اثر مستقل رطوبت تعادل بر مقاومت انفصالی نمونه‌ها مشاهده می‌شود. بر اساس این شکل تفاوت مشهودی در مقدار مقاومت انفصالی مشاهده نمی‌شود. جدول 1 نیز اثر این دو سطح رطوبت تعادل بر مقاومت انفصالی را معنی‌دار ندانست.



شکل 6- اثر قطر سوراخ هادی بر مقاومت انفصالی

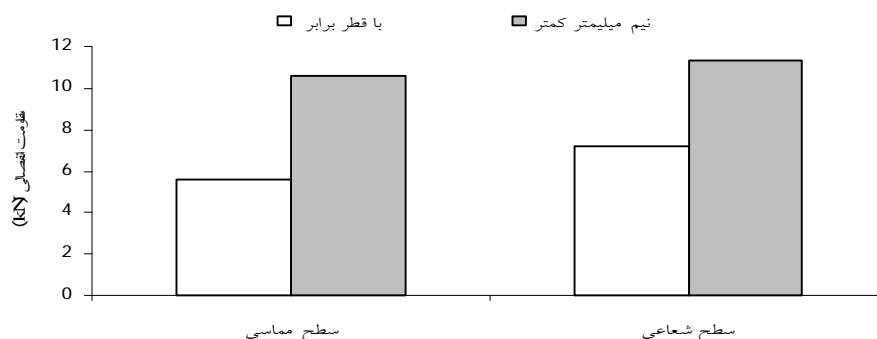
اثر مستقل قطر سوراخ بر مقاومت انفصالی در شکل 6 مشاهده می‌شود. بر اساس این شکل اگر قطر سوراخ نیم میلی‌متر کمتر انتخاب گردد، اثر زیادی بر مقاومت انفصالی نمونه خواهد گذاشت. جدول 1 نیز اثر مستقل قطر سوراخ بر مقاومت انفصالی نمونه‌ها را با اطمینان 95% معنی‌دار دانسته است.



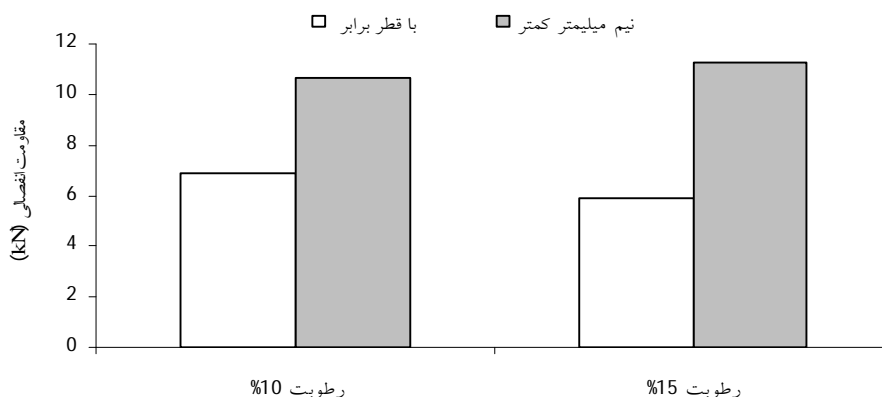
شکل 7- اثر متقابل سطح اتصال و رطوبت تعادل بر مقاومت انفصالی

شکل 7 اثر متقابل سطح اتصال و رطوبت تعادل بر مقاومت انفصالی را نشان می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود، در سطح اتصال مماسی با افزایش رطوبت تعادل از 10 به 15 درصد از مقدار مقاومت انفصالی کاسته و در اتصال شعاعی با افزایش رطوبت تعادل از 10 به 15 درصد بر مقدار مقاومت انفصالی افزوده می‌گردد. جدول 1 اثر متقابل سطوح اتصال و رطوبت تعادل بر مقاومت انفصالی را معنی‌دار نشان داده است.

اثر متقابل سطح اتصال و قطر سوراخ بر مقاومت انفصالی نمونه‌ها در شکل 8 مشاهده می‌شود. همان گونه که شکل 8 نشان می‌دهد، در هر دو سطح اتصال با کاهش قطر سوراخ بر مقدار مقاومت انفصالی افزوده می‌شود. جدول 1 اثر متقابل سطح اتصال و قطر سوراخ بر مقاومت انفصالی نمونه‌ها را معنی‌دار نمی‌داند.

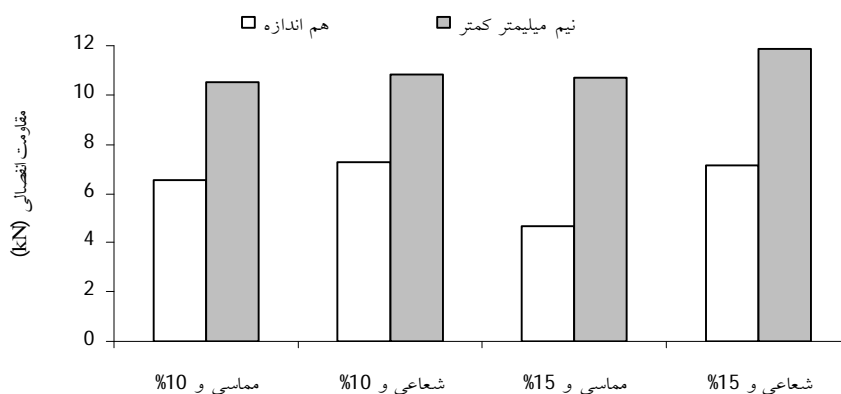


شکل ۸- اثر متقابل سطح اتصال و قطر سوراخ بر مقاومت انفصالی



شکل ۹- اثر متقابل رطوبت تعادل و قطر سوراخ بر مقاومت انفصالی

اثر متقابل رطوبت تعادل و قطر سوراخ بر مقاومت انفصالی در شکل ۹ مشاهده می‌شود. در نمونه‌های با قطر سوراخ برابر، با افزایش رطوبت تعادل، از مقدار مقاومت انفصالی کاسته و در نمونه‌های با قطر سوراخ نیم میلی‌متر کمتر، با افزایش رطوبت تعادل، بر مقدار مقاومت انفصالی افزوده می‌گردد. جدول آنالیز واریانس اثر متقابل رطوبت تعادل و قطر سوراخ را در سطح ۹۵٪ معنی‌دار می‌داند.



شکل ۱۰- مقایسه مقاومت انفصالی نمونه‌ها با قطر سوراخ هادی متفاوت

در شکل ۱۰ مقایسه مقادیر مقاومت انفصالی با قطر سوراخ متفاوت انجام شده‌است. همان‌گونه که شکل نشان می‌دهد، در نمونه‌های با سوراخ هم اندازه، بیشترین مقدار مقاومت انفصالی در نمونه‌های سطح اتصال شعاعی و

10% رطوبت تعادل و کمترین در نمونه‌های مماسی و 15% رطوبت تعادل مشاهده می‌شود. در نمونه‌های با قطر سوراخ نیم میلی‌متر کمتر از قطر دوپل، اثر سطوح اتصال و سطوح رطوبت تعادل کاهش می‌یابد به طوری که مقادیر مقاومت تقریباً در یک اندازه می‌باشند. فاصله زیاد بین مقادیر مقاومت انفصالی در هر یک از حالت‌ها در مقایسه بین سوراخ هادی هم اندازه و نیم میلی‌متر کمتر کاملاً مشهود است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش تاثیر عوامل مهمی چون سطح رطوبت تعادل، سطح اتصال (شعاعی یا مماسی) و قطر سوراخ هادی دوپل بر مقاومت انفصالی اتصال T شکل مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل گردید. نتایج آنالیز واریانس در مورد اثر سطح اتصال بر مقاومت انفصالی کاملاً معنی‌دار بوده افزایش مقاومت در سطح اتصال شعاعی نسبت به سطح مماسی کاملاً مشهود است (شکل 4). این امر شاید به دلیل وجود خلل و فرج بیشتر سطح شعاعی نسبت به سطح مماسی باشد. خلل و فرج بیشتر موجب افزایش نفوذ چسب در این نمونه‌ها گردید. این نتایج با مشاهدات وینیزتروف (1995) منطبق می‌باشد [12]. در بررسی تاثیر تغییرات رطوبت بر میزان مقاومت مشاهده گردید که هرچند تاثیر مستقل رطوبت بر مقاومت کاهنده بوده اما معنی‌دار نبوده است، ولی در تمام بررسی‌های متقابل که رطوبت نیز از اجزای آنها بوده است، تاثیرات معنی‌دار و در بیشتر موارد با افزایش رطوبت مقاومت کاهش یافت. در بسیاری منابع اثر رطوبت بر کاهش مقاومت‌های مکانیکی ذکر گردیده است [2]. در طول آزمون با نمونه‌گیری، رطوبت کنترل شد، به نظر می‌رسد فاصله بین دو سطح رطوبتی تاثیر مهمی بر مقاومت اتصال نداشته است. در این مطالعه، ساخت نمونه‌ها قبل از قرار دادن آنها در شرایط رطوبتی متفاوت انجام گردید. قرار دادن اجزای اتصال در شرایط رطوبتی متفاوت، قبل از مونتاژ نمودن آن می‌تواند پیشنهاد این مطالعه باشد. تاثیر رطوبت بر کاهش مقاومت در پژوهش‌های رامر و وینیزتروف (1999) نیز گزارش شده است [10].

تاثیر قطر سوراخ هادی دوپل بر مقاومت انفصالی بررسی گردید و مشاهده شد که با کاهش قطر سوراخ (به اندازه نیم میلی‌متر)، مقاومت به شکل معنی‌داری افزایش می‌یابد. این می‌تواند ناشی از این باشد که هر چه دوپل در داخل سوراخ کیپ باشد در انفصال مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد. این مشاهدات با نتایج گزارش شده توسط اکلمان و همکاران (2002)، نوری (1382)، منطبق می‌باشد [7 و 5]. در این مطالعه قطر سوراخ به عنوان متغیر به نحوی اثر گذار بود که توانست سایر متغیرها را تحت تاثیر خود قرار داد. با مشاهده شکل‌های 8 و 9 می‌توان نتیجه گرفت که کاهش قطر سوراخ هادی تا حدودی تاثیر منفی رطوبت بر مقاومت را توانست تعدیل نماید. در این شکل‌ها مشاهده می‌شود که افزایش رطوبت، موجب کاهش مقاومت در قطر سوراخ هم اندازه با قطر دوپل گردید اما در قطر سوراخ هادی نیم میلی‌متر کمتر، کاهش مقاومت در اثر افزایش رطوبت مشاهده نمی‌شود.

منابع مورد استفاده

- 1- ابراهیمی، ق، 1386. طراحی مهندسی سازه مبلمان، انتشارات دانشگاه تهران، 491 صفحه.
- 2- ابراهیمی، ق، 1368. مکانیک چوب و فرآورده‌های مرکب آن، ترجمه، انتشارات دانشگاه تهران، 680 صفحه.
- 3- تاج، م، ع. 1386. اندازه‌گیری استحکام کششی و برشی پیچ چوب در گونه‌های راش، ممرز و صنوبر، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس نور.
- 4- جهان لئیاری، ا. نوری، ح. غفرانی، م. 1384، بررسی مقاومت برشی اتصال دویل در اتصال تخته خرده-چوب، مجله علوم کشاورزی، شماره (1): 148-135
- 5- نوری، ح. 1382، بررسی افزایش مقاومت اتصال دویل در تخته خرده چوب، پایان نامه کارشناسی ارشد صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
- 6- نوری، ح. غفرانی، م. 1385، بررسی مقاومت برشی جانبی انواع اتصالات دویل، پیچ و گوشه‌ای فلزی در تخته خرده چوب روکش دار و بدون روکش، مجله پژوهش و سازندگی، شماره 72، 14-2.
7. Eckelman, C. A., Erdil, Y. Z., Zhang, j., (2002). "withdrawl and bending strength of dowel joints construction of plywood and oriented strandboard". forest prod. j. 52(9). P: 66-74.
8. Eckelman, C.A. 2004. Engineering Design of Furniture. Chap 6. Purdue University. USA.
9. National Design Specification for wood construction. 1991. Washington DC.
10. Rammer, D.R., Winistrofer, S.G (1999). Effect of moisture content on dowel bearing strength. Wood and fiber science 33(1).
11. Soltis, L. A., Ritter, M., (1997). Mechanical Conection in wood structures, American Society of Civil Engineers, 245 pages.
12. Winistrofer, S. G., (1995). "Practical consideration of dowel bearing strength and anular ring / fastener orientation " Forest products journal, V .45(7/8), p: 64-68.