طراحی اتصالات دوگانه برشی چندسازه‌های چوب- استیل و ارزیابی ظرفیت تحمل بار آنها بر اساس EC5

مرضیه رئیسی[۱*]
ابوالقاسم خزاعیان[۲]
محراب مدهوشی[۲]

[۱] دانش‌آموخته دکتری فرآورده‌های چندسازه چوب، گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران

[۲] دانشیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران

مسئول مکاتبات:
mareisi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۸

چکیده

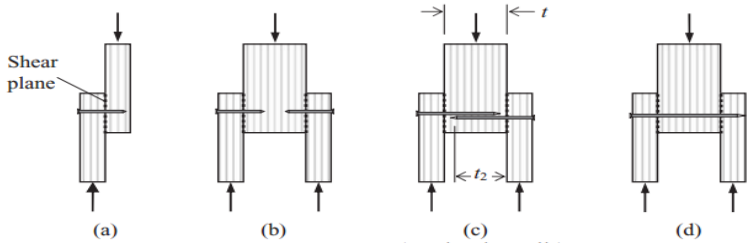
هدف از این پژوهش، پیش‌بینی و ارزیابی ظرفیت تحمل بار اتصالات دوگانه برشی در چندسازه‌های لایه‌ای چوب در ترکیب با صفحه و پین استیل بر اساس دستورالعمل EC5 بوده است. متغیرهای اصلی، نوع چندسازه لایه‌ای در چهار سطح (PLT, $POLT_1$, $POLT_2$, OLT)، قطر اتصال‌دهنده در دو سطح (۶ و ۸ میلی‌متر) و تعداد اتصال‌دهنده در ردیف در سه سطح (۱، ۲ و ۳) در نظر گرفته شد. برای انجام تحقیق، چندسازه جدیدی از فرآورده‌های مهندسی‌شده چوب مورداستفاده قرار گرفت، بدین‌صورت که تخته لایه و تخته تراشه جهت‌دار خود به‌عنوان اجزای ساختار سه‌لایی توسط رزین پلی‌اورتان تک جزئی در کنار هم قرار گرفتند. اتصال‌دهنده مورداستفاده در اتصالات دوگانه برشی چوب- استیل، پین استیل با قطر ۶ و ۸ میلی-متر و صفحه استیل باضخامت ۴ میلی‌متر بوده است. پیش‌بینی مقادیر ظرفیت تحمل بار اتصالات بر اساس معادلات دستورالعمل EC5 و مدهای شکست یوهانسن صورت گرفت. نمونه‌های آزمونی اتصالات برای بررسی اثر پارامترهای تحقیق، بر اساس استاندارد EN 26891 تحت بارگذاری قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اثر افزایش سهم تخته لایه بخصوص در لایه میانی چندسازه‌های جدید در افزایش ظرفیت تحمل بار اتصالات معنی‌دار بوده است. همچنین افزایش قطر اتصال‌دهنده از ۶ به ۸ میلی‌متر نیز، موجب افزایش ظرفیت تحمل بار اتصالات شده است. همچنین با افزایش تعداد پین استیل در ردیف، ظرفیت تحمل بار اتصالات افزایش‌یافته است. یافته‌های تحقیق بیانگر این مطلب است که فرمول‌های ارائه‌شده توسط دستورالعمل EC5 توانایی پیش‌بینی مقاومت و رفتار اتصالات در این مطالعه را داشته‌اند و حتی در برخی تیمارها مقادیر تجربی بیشتر از مقادیر پیش‌بینی بوده‌اند. چندسازه‌های مهندسی‌شده $POLT_1$ و $POLT_2$ در اتصالات برشی دوگانه چوب- استیل دارای مقادیر ظرفیت تحمل بار نزدیک به مقادیر پیش‌بینی EC5 و بیشتر بوده‌اند. در بررسی مدهای شکست اتصالات، پین استیل ۶ میلی‌متری عملکرد بهتری از خود نشان داد.

واژگان کلیدی: اتصالات دوگانه برشی، چندسازه‌های لایه‌ای، ظرفیت تحمل بار، EC5، صفحه و پین استیل، شکست.

مقدمه

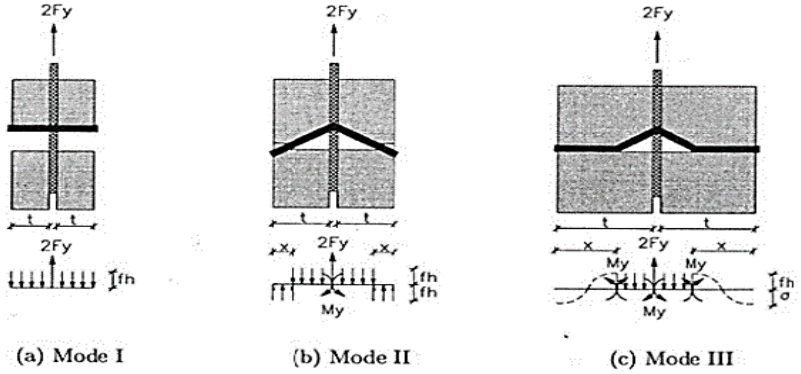
چوب به‌عنوان یک کامپوزیت پلیمری- سلولی در هیچ‌یک از طبقه‌بندی‌های معمولی مواد ساختمانی نمی‌گنجد بلکه تمایل به هم‌پوشانی تعدادی از این طبقه‌بندی‌ها دارد. به دلیل عملکرد مقاومتی بالا و قیمت پایین، چوب ماده ساختمانی موفقی در سطح جهان است [۱]. تولید محصولات مهندسی‌شده چوب[۱] (EWPs)، اتصالات نوین و تکنیک‌های لایه ای کردن[۲] چوب را قادر ساخته تا در هر شکل و اندازه‌ای بخصوص در صنعت ساختمان ظاهر شود [۲ و ۳]. EWPs برای غلبه بر محدودیت‌های چوب ماسیو در شکل‌های مختلف گسترش‌یافته‌اند و اتصالات بسیار کارآمد به‌وسیله صفحات استیل تعبیه‌شده در شیار اعضای چوبی و در ترکیب با اتصال‌دهنده پین استیل[۳] ساخته می‌شوند [۴]. تحقیقات گسترده در چند دهه گذشته موجب شد که اطلاعات جامعی از ویژگی‌های چوب و محصولات مهندسی‌شده آن در سرویس ارائه شود. قرن‌ها تجربه استفاده از چوب در ساختمان‌ها، روش‌های امن ساخت‌وساز، جزئیات اتصال و محدودیت‌های طراحی را به ما نشان داده است [۵]. باید دانست که اتصالات اغلب ضعیف‌ترین نقاط در ساختار سازه‌های چوبی هستند، چراکه پیوستگی بافت اعضای سازه را دست‌خوش تغییر می‌کنند و درنتیجه سبب کاهش مقاومت عمومی اعضای متصل شده می‌شوند. تقریباً ۸۰ درصد شکست‌های ساختاری از اتصالات نشأت می‌گیرند و تا ۷۰ درصد هزینه‌ها به آنها اختصاص دارد [۱ و ۶]. نوع اتصال‌دهنده‌ها در طراحی اعضای سازه، اجرا و نصب موفق، مقاومت سازه، تناسب، زیبایی و درنتیجه هزینه‌ها نقش بسزایی دارند [۷]. از طرفی اتصال‌دهنده‌ها محدودیت‌هایی نیز دارند که عبارتند از: وزن بالا، مستعد خوردگی بودن، ظاهر نازیبا و قیمت بالا. همچنین افزایش رفتار پلاستیک اتصال و درنتیجه رسیدن اتصالات به حداکثر تغییر شکل بدون اتفاق شکست نیز تحت تأثیر طراحی درست اتصالات است [۸]. به دلیل برخی اهداف معماری و نیازهای سازه‌ای، صفحات استیل[۴] در ترکیب با پین‌های فلزی به‌عنوان اتصال‌دهنده، برای اعضای سازه به کار می‌روند. این نوع اتصال، بانام اتصالات استیل به چوب[۵] شناخته می‌شود. صفحات استیل در ترکیب با پین‌های فلزی برای تضمین توزیع متناسب نیرو (تنش) از عضوی به عضو دیگر به کار می‌روند؛ ظرفیت تحمل بار اتصالات را نیز بهبود می‌بخشند؛ همچنین می‌توانند برای افزایش طول تیرها مفید و نقش مؤثری در عدم اتفاق شکست ترد اعضای اتصال داشته باشند [۹ و ۱۰]. در طبقه‌بندی استاندارد[۶] EC5، صفحات می‌توانند در خارج سطح چوب قرار گیرند یا در شکاف ایجادشده در چوب جای‌گیرند[۷]. اتصالات می‌توانند با الگوی برشی ساده[۸] و یا دوگانه[۹] تشکیل شوند [۱۱] (شکل ۱). طراحی اتصالات از این نوع، بر اساس تئوری یوهانسن[۱۰] و با فرض رفتار پلاستیک ایده آل استیل و چوب انجام می‌شود. ظرفیت تحمل بار به‌وسیله کاربرد شرایط متعادل برای مدهای شکست متفاوت صورت می‌گیرد که ترکیبی از شکست ناشی از مقاومت تکیه‌گاهی اتصال‌دهنده[۱۱] در چوب و تغییر شکل خمشی در اتصال‌دهنده‌هاست [۸ و ۱۲].

[1] Engineered Wood Products (EWPs)
[2] Layering Techniques
[3] Steel Dowel
[4] Steel Plate
[5] Steel- to- Timber Connections
[6] Eurocode 5
[7] Slotted- in Steel Plate
[8] Single shear connection
[9] Double Shear Connections
[10] Johansen Theory
[11] Embedment Strength of Fastener



شکل ۱- اتصال‌دهنده فلزی نوع پین استیل بارگذاری شده در اتصالات ساده و دوگانه [۱۱]

دیگر عامل مهم در طراحی اتصالات، گشتاور حد نهایی در رفتار پلاستیک پین‌های استیل است [۱۳]. مدهای شکست وابسته به اتصالات برشی دوگانه بر اساس تئوری یوهانسن [۱۴] نیز حائز اهمیت‌اند (شکل ۲):



شکل ۲- مدهای شکست اتصالات دوگانه برشی چوب- استیل بر اساس تئوری یوهانسن [۱۴]

مد شکست (I)، نشان‌دهنده شکست در عضو چوبی است که ناشی از تنش فشردگی تحت تنش تکیه‌گاهی پین است. مد شکست (II)، ترکیب شکست در اثر تنش فشردگی در چوب و خم شدن اتصال‌دهنده است و مد (III)، مربوط به تغییر شکل خمشی اتصال‌دهنده است. t_1 نیز معرف ضخامت اعضای چوبی است. معادلات طراحی برای مدهای شکست ارائه‌شده بر اساس EC5 به شرح زیر است [۱۱]:

$$\text{(I)}\ F_{v,Rk} = f_{h,1,k}.t_1.d \qquad (۱)$$

$$\text{(II)}\ F_{v,Rk} = f_{h,l,k}\,t_1 d \left[\sqrt{2+\frac{4M_{y,R,k}}{f_{h,l,k}dt_1^2}}-1\right]+\frac{F_{ax,Rk}}{4} \qquad (۲)$$

$$\text{(III)}\ F_{v,Rk} = 2.3\sqrt{M_{y,Rk}.f_{h,1,k}.d}+\frac{F_{ax,Rk}}{4} \qquad (۳)$$

در این معادلات، Fv,Rk ظرفیت تحمل بار به ازای هر اتصال است. fh,l,k بیانگر تنش تکیه‌گاهی اتصال‌دهنده، t_1، نشان‌دهنده کمترین ضخامت عضو مجاور صفحه، d قطر اتصال‌دهنده، My,R,k معرف گشتاور حد نهایی اتصال-دهنده و Fax,Rk معرف ظرفیت خارج کردن اتصال‌دهنده می‌باشد. در طراحی سازه‌های چوبی اتصالات باید تحمل تغییر شکل بدون شکست را داشته باشند تا از ساخت سازه‌های ناامن بالقوه و مکانیسم شکست ترد در اتصالات ممانعت به عمل آید [۱۵].

Kobel و همکاران (۲۰۱۶) با ساخت الوار لایه‌ای چوب[1] (LVL) حاصل از راش اروپا، به بررسی اثر کاربرد این فرآورده بر ویژگی‌های خرپا پرداختند. آنها از ۲۳٪ لایه‌های عرضی استفاده کردند تا فرآورده حاصل ساختار انیزوتروپیک داشته باشد. نتایج نشان داد، وجود لایه‌های عرضی در بهبود ظرفیت تحمل بار اتصالات مفید بوده، چراکه تحمل تنش کششی در جهت عمود بر الیاف را

[1] Laminated Veneer Lumber

افزایش داده است و درنتیجه موجب ممانعت از بروز شکست ترد شده است [۱۳]. در پژوهشی که Misconel و همکاران (۲۰۱۶) انجام دادند، از LVL راش، تیر لایه‌ای بااتصال چسب[1](Glulam) ساخته شد و ظرفیت تحمل بار اتصالات استیل- چوب بر اساس EC5، پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که کامپوزیت جدید دارای مقاومت‌های بسیار بالا و قابل پیشنهاد برای کاربرد در ساخت سازه‌های چوبی بوده است [۹]. Bader و همکاران (۲۰۱۵) ، روی اتصالات چوب- استیل در یک فرآورده جدید مطالعه کردند. بدین ترتیب که تیرهایی باضخامت ۱۱۴ میلی‌متر ساخته شدند که شامل، دولایه ۵۱ میلی‌متری LVL در دو سطح تیر و لایه مغزی از تخته تراشه جهت‌دار[2] (OSB) ۱۲ میلی‌متری در ترکیب با صفحه استیل ۱۰ میلی‌متری بودند. نتایج نشان داد که ظرفیت تحمل بار چندسازه جدید توسط EC5 قابل پیش‌بینی و بعضاً بیشتر از مقادیر پیش‌بینی بوده است [۱۶]. Bader و همکاران (۲۰۱۶) ، بر روی رفتار پین استیل در اتصالات چندگانه تمرکز کردند. برای این منظور، اتصالات چوب- استیل با ۹ پین استیل در الگوها و قطرهای متفاوت، موردبررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد در اتصالات با پین ۱۲ میلی‌متری، تغییر شکل خمشی بزرگ‌تر از تغییر شکل لهیدگی بود ولی این مقدار کوچک‌تر از تغییر شکل خمشی در اتصالات با پین ۲۰ میلی‌متری بوده است که نشان‌دهنده اهمیت قطر پین استیل در تغییر شکل اتصالات است [۸]. Han (۲۰۱۶) به بررسی اثر قطر پین استیل بر ظرفیت تحمل بار اتصالات پرداخت. نتایج نشان داد که اتصالات دارای پین با قطر بیشتر، سفتی و ظرفیت تحمل بار بیشتری دارند [۱۰]. Mischler و همکاران (۲۰۰۰) به بررسی ظرفیت تحمل بار اتصالات دوگانه برشی پرداختند. آنها از پین ۶ و ۸ میلی‌متر با تعداد متفاوت در ردیف استفاده کردند. آنها اعلام کردند، اتصالات با قطر کمتر اتصال‌دهنده هم می‌توانند به ظرفیت تحمل بار بالایی برسند و اینکه، برای اتصالات با تعداد پین بیشتر، رفتار منعطف تنها وقتی ممکن خواهد بود که شکست بعد از تغییر شکل پلاستیک مشهود پین رخ دهد [۱۷]. Sandhaas و همکاران (۲۰۱۷) بر روی مقاومت و سفتی اتصالات دوگانه برشی مطالعه نمودند. تعداد اتصال‌دهنده‌ها، ۱، ۳ و ۵ عدد در ردیف بود و پین استیل مقاوم و بسیار مقاوم بکار گرفته شد. ظرفیت تحمل بار اتصالات با پین بسیار مقاوم بیشتر از اتصالات دیگر بوده است درحالی‌که هنوز هم تغییر شکل پلاستیک برای مدهای شکست منعطف را فراهم می‌آورند [۱۸]. Bruhl و همکاران (۲۰۱۱) بر تغییر شکل پلاستیک در طراحی اتصالات متمرکز شدند. آنها اعلام کردند که با افزایش فاصله افقی پین‌های استیل در ردیف، خطر شکافتن عضو کاهش می‌یابد. برخلاف چوب، پین استیل رفتار پلاستیک قابل‌توجهی از خود نشان می‌دهد، اگر اتصالات در معرض خطر شکست پیش‌رس در عضو چوبی نباشند [۱۹]. Schonmakers و Jorissen (۲۰۱۱) شکست اتصالات پین استیل عمود بر جهت الیاف را مورد بررسی قراردادند. نتایج نشان داد که مد شکست به‌شدت تحت تأثیر تعداد اتصال‌دهنده در ردیف و فاصله لبه بارگذاری شده[3]در اتصالات است [۱۵].

مواد و روش‌ها

فرآورده مهندسی‌شده جدید

جهت انجام این تحقیق، تخته لایه (۱۱ لایه) ساختمانی گونه توس(*Latin Bétulă*) از شرکت سوزا[5] روسیه و تخته تراشه جهت‌دار از شرکت کرونوسپان[6] رومانی تهیه و به آزمایشگاه منتقل شدند (جدول ۱).

[1] Glued Laminated Timber
[2] Oriented Strand Board
[4] Loaded Edge

[4] Russian Birch
[5] Sveza
[6] Kronospan

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی پانل‌های مورداستفاده

ویژگی	تخته تراشه جهت‌دار	تخته لایه
اندازه (میلی‌متر)	۲۴۴۰×۱۲۲۰	۲۴۴۰×۱۲۲۰
ضخامت (میلی‌متر)	۱۵	۱۵
درجه انتشار فرم‌آلدهید	E_1	E_1
دانسیته (kg/m^3)	۶۳۰-۶۵۰	۶۴۰-۷۰۰
درصد رطوبت	۶-۱۰	۵-۱۰
مقاومت خمشی (N/m^2)		
-در جهت الیاف لایه رو	۲۰	۶۰
-عمود بر جهت الیاف لایه رو	۱۰	۳۰
مدول الاستیسیته ظاهری (N/m^2)		
-در جهت الیاف لایه رو	۳۵۰۰	۶۰۰۰
-عمود بر جهت الیاف لایه رو	۱۴۰۰	۳۰۰۰

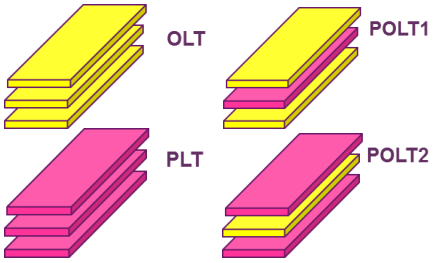
پس از طی سه هفته دوره کلیما با شرایط دمایی ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد، دانسیته ماده اولیه بر اساس استاندارد BS EN 32 اندازه‌گیری و درصد رطوبت آنها تعیین شد [۱۲ و ۲۰]. بر این اساس میانگین دانسیته تخته لایه و تخته تراشه جهت‌دار به ترتیب: ۶۷۵ و ۵۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب و میانگین محتوی رطوبتی آنها به ترتیب: ۹/۶۲ و ۹/۹ درصد بوده است. رزین مورداستفاده، پلی‌اورتان تک جزئی ساخت شرکت Jowat بوده است (جدول ۲). مقدار چسب جهت اتصال لایه‌ها، ۳۰۰ گرم بر مترمربع در نظر گرفته شد [۱۲].

جدول ۲- ویژگی‌های چسب مورداستفاده

ویژگی	مقدار
نوع	بر پایه پیش پلیمر پلی اورتان
رنگ	قهوه‌ای روشن
دانسیته	۱/۱ گرم بر سانتیمتر مکعب
ویسکوزیته	۵۰۰۰-۱۵۰۰۰ سانتی پواز
دمای کاربرد	۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد

ضخامت اسمی هر دوتخته ۱۵ میلی‌متر بود. پین‌های استیل از نوع آلیاژ SD 304 در دو سطح قطری ۶ و ۸ میلی‌متر انتخاب شدند. صفحات استیل باضخامت ۴ میلی-متر نیز برای تشکیل اتصالات دوگانه برشی در نظر گرفته-شدند. فرآورده‌های جدید در چهار ترکیب سه‌لایی و با استفاده از چسب ساخته شدند (شکل ۳). الف: ترکیب حاصل از سه تخته لایه ۱۵ میلی‌متری (PLT[1]). ب: ترکیب حاصل از سه OSB_3 ۱۵ میلی‌متری (OLT[2]). ج: ترکیب حاصل از تخته لایه و تخته تراشه جهت‌دار در دو ساختار: ترکیب دو OSB_3 ۱۵ میلی‌متری در پشت‌ورو و یک تخته لایه ۱۵ میلی‌متری در لایه مغزی ($POLT_1$) و ترکیب دو تخته‌لایه ۱۵ میلی‌متری در پشت و رو و یک OSB_3 ۱۵ میلی‌متری در لایه مغزی ($POLT_2$). لازم به ذکر است که در این تصویر، رنگ زرد نشان‌دهنده OSB_3 و رنگ صورتی نشان‌دهنده تخته‌لایه است.

[1] Plywood Laminated Timber
[2] OSB Laminated Timber
[3] Plywood- OSB Laminated Timber



شکل ۳-تصویر شماتیک از قرارگیری لایه‌ها در چندسازه‌های مهندسی‌شده جدید

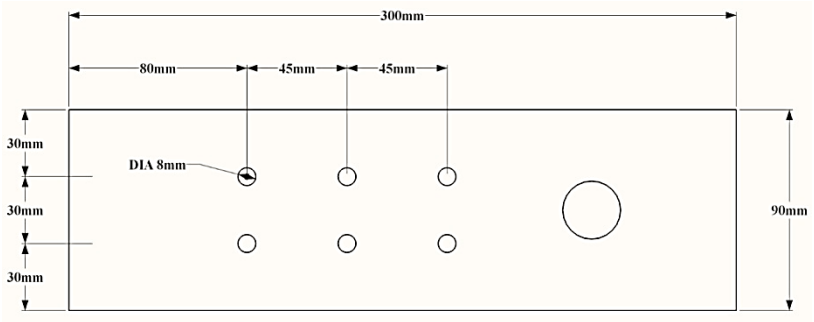
ساخت اعضای لایه‌ای اتصالات چوب- استیل

برای دست‌یابی به اهداف نهایی مطالعه، اندازه و ابعاد مقطع اعضای سازه بر اساس استاندارد BS EN 336 انتخاب شدند [۲۱]. ضخامت نمونه ۴۵ میلی‌متر و ارتفاع مقطع آنها ۹۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. طول نمونه‌های آزمون ظرفیت تحمل بار اتصالات بر اساس دستورالعمل موجود در EC5 و رعایت فواصل ارائه‌شده در استاندارد DIN EN 1380، ۳۰۰ میلی‌متر انتخاب شد [۲۳]. در ساخت چندسازه‌ها، هر خط چسب حدوداً به مقدار ۱۰ گرم چسب نیاز داشت. زمان مونتاژ باز و بسته برای همه تیمارها به ترتیب ۱ و ۲ دقیقه در نظر گرفته شد [۲۴]. پس از پایان زمان مونتاژ، نمونه‌ها در قالب مخصوص قرار داده شدند و دو انتهای آنها و همچنین قسمت میانی چندسازه با استفاده از پیچ‌دستی تحت فشار قرار گرفت. زمان پرس برای همه نمونه‌ها ۴۵ دقیقه بود. نمونه‌ها پس از خارج شدن از گیره، به مدت ۳ هفته تحت شرایط استاندارد کلیما با شرایط دمایی ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵ درصد نگهداری شدند (شکل ۴).

شکل ۴- تصویر چندسازه سه لایه $POLT_1$ (سمت راست) تصویر چندسازه سه لایه $POLT_2$ (سمت چپ)

طراحی اتصالات دوگانه برشی چوب- استیل

بر اساس دستورالعمل EC5 سوراخ‌کاری نمونه‌ها باید با رعایت فواصل و با دقت بسیار زیاد انجام شود. در این مطالعه سوراخ‌کاری نمونه‌ها توسط دستگاه CNC انجام شد. سه الگوی متفاوت برای سوراخ اتصال در نظر گرفته شد، تعداد یک پین استیل در ردیف، دو پین استیل در ردیف و سه پین استیل در ردیف. نمونه‌ای از الگوی سوراخ‌کاری در شکل ۵ قابل‌مشاهده است. همین الگو برای برش لیزر صفحات فلزی که باید در شکاف اتصال جای‌گیرند نیز رعایت شد. پس از ایجاد سوراخ‌های جای-گیری پین استیل، شکاف قرارگیری صفحه فلزی در اعضای اتصال نیز با رعایت فواصل استاندارد منطبق بر الگوی برش ایجاد شد.



شکل ۵- نمونه‌ای از الگوی سوراخ‌کاری اتصال برای تعداد سه پین استیل در ردیف با قطر ۸ میلی‌متر

آزمون تنش تکیه‌گاهی پین استیل

چندسازه‌های سه‌لایی با توجه به دستورالعمل موجود در استاندارد BS EN 383 برای تهیه نمونه‌های آزمونی آماده شدند [۲۲]. سپس با استفاده از فرمول‌های EC5 تنش تکیه‌گاهی اتصال‌دهنده ($f_{h,1,k}$) پیش‌بینی شد. نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ZWICK/Roell-BT1-FR 250 تحت آزمون قرار گرفتند. مقادیر حاصل از آزمون در محاسبات ظرفیت تحمل بار اتصالات بکار گرفته شدند. عوامل متغیر این فاز، ترکیب سه لایه چندسازه جدید در ۴ سطح و قطر پین استیل در دو سطح در نظر گرفته شدند [۱۲].

آزمون کشش پین استیل

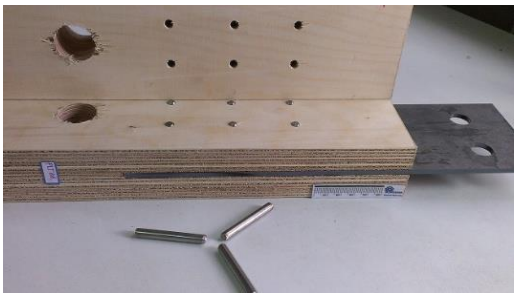
بر اساس فرمول‌های ارائه‌شده در EC5 (معادلات ۱ تا ۳)، جهت محاسبه ظرفیت تحمل بار اتصالات، محاسبه گشتاور حد نهایی اتصال‌دهنده‌ها مؤثر و حائز اهمیت است. مقدار این ویژگی با دو روش قابل‌دسترسی است: بر اساس استاندارد BS EN 409 [۲۵] و اندازه‌گیری مقاومت کششی اتصال‌دهنده ($f_{u,k}$) که مبنای محاسبات در این تحقیق است. آزمون کشش بر اساس استاندارد EN ISO 6892-1 [۲۶] در مرکز پژوهش متالورژی رازی انجام گردید. در این آزمون نمونه‌ها با طول ۱۵۰ میلی‌متر، بدون تغییر شکل مقطع و توسط دستگاه یونیورسال Gotech تحت کشش قرار گرفتند. بر اساس گزارش‌ها، استحکام نهایی پین‌های استیل ۶ و ۸ میلی‌متر به ترتیب: ۷۹۲/۵ و ۹۳۶/۵ مگا پاسکال بوده است که برای محاسبه گشتاور حد نهایی در معادله ۴ به کار گرفته شدند.

$$M_{y,Rk} = 0.3\, f_{u,k} d^{2.6} \qquad (۴)$$

در این معادله $M_{y,Rk}$، معرف مقدار گشتاور حد نهایی اتصال‌دهنده (N.mm) است. $f_{u,k}$ نشان‌دهنده مقاومت کششی اتصال‌دهنده (N/mm^2) و d معرف قطر اتصال‌دهنده (mm) فلزی است.

پیش‌بینی ظرفیت تحمل بار اتصالات

محاسبه مقادیر پیش‌بینی ظرفیت تحمل بار اتصالات برشی دوگانه بر اساس فرمول‌های ارائه‌شده در EC5 صورت گرفت. در این تحقیق، جهت پیش‌بینی ظرفیت تحمل بار اتصالات، معادله (۲) (رجوع شود به بخش مقدمه) بکار گرفته شد. سپس، نمونه‌های آزمونی چوب-استیل برای هر تیمار جهت انجام آزمون آماده شدند (شکل ۶).



شکل ۶- نمونه‌های آزمونی اتصالات دوگانه برشی جهت انجام آزمون ظرفیت تحمل بار

آزمون ظرفیت تحمل بار اتصالات

اتصالات دوگانه برشی با استفاده از دستگاه ZWICK/Roell-BT1-FR 250 و بر اساس استاندارد BS EN 26891:1991 تحت بار قرار گرفتند [۲۶]. سرعت بارگذاری به‌گونه‌ای بود که آزمون طی مدت‌زمان ۳۰۰±۱۲۰ ثانیه انجام گرفت. سرعت بارگذاری، ۱ میلی-متر بر دقیقه در نظر گرفته شد. بارگذاری برای رسیدن به ۱۵ میلی‌متر جابجایی یا حداکثر نیروی پیش‌بینی‌شده توسط EC5 ادامه یافت. درمجموع ۲۴ تیمار با سه تکرار در قالب طرح فاکتوریل مورد آزمون قرار گرفتند. جهت انجام تجزیه‌وتحلیل آماری از نرم‌افزار Minitab 16 استفاده شد. برای مشخص نمودن اثرات معنی‌دار از آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده شد و جهت گروه‌بندی میانگین تیمارها آزمون توکی در سطح اطمینان ۹۵ درصد بکار گرفته شد.

نتایج و بحث

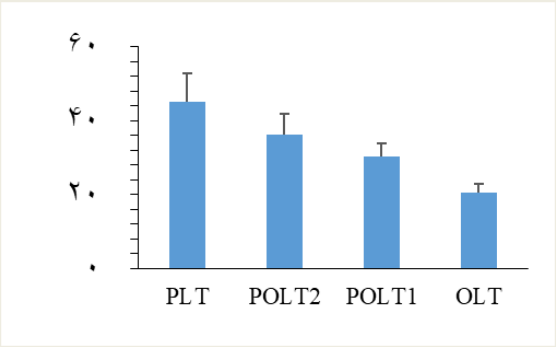
ظرفیت تحمل بار اتصالات

جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس ویژگی ظرفیت تحمل بار برای اتصالات دوگانه برشی در این تحقیق را نشان می-دهد. اثر مستقل و متقابل سه پارامتر نوع ماده، قطر اتصال‌دهنده و تعداد اتصال‌دهنده در ردیف بر ظرفیت تحمل بار اتصالات در سطح ۹۹ درصد اطمینان معنی‌دار بوده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس نتایج مربوط به ویژگی ظرفیت تحمل بار اتصالات

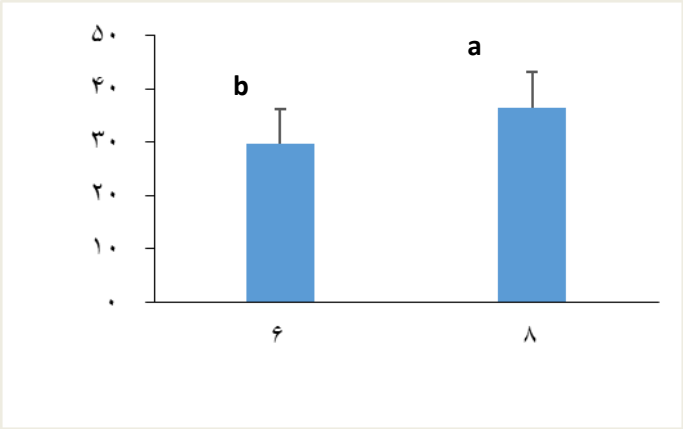
منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار شاخص F	مقدار شاخص P
نوع ماده (A)	۳	۵۶۴۷۵۱۱۵۲۸	۱۸۸۲۵۰۳۸۴۳	۴۷۹/۵۵	۰/۰۰۰
قطر پین (B)	۱	۸۱۰۰۳۱۲۵۰	۸۱۰۰۳۱۲۵۰	۲۰۶/۳۵	۰/۰۰۰
تعداد پین در ردیف (C)	۲	۴۱۳۵۴۶۳۳۳۳	۲۰۶۷۷۳۱۶۶۷	۵۲۶/۷۴	۰/۰۰۰
A*B	۳	۳۴۲۸۳۵۹۷۲	۱۱۴۲۷۸۶۵۷	۲۹/۱۱	۰/۰۰۰
A*C	۶	۱۲۰۰۲۳۵۵۵۶	۲۰۰۰۳۹۲۵۹	۵۰/۹۶	۰/۰۰۰
B*C	۲	۴۰۷۷۲۳۳۳۳	۲۰۳۸۶۱۶۶۷	۵۱/۹۳	۰/۰۰۰
A*B*C	۶	۱۳۳۷۹۱۱۱۱	۲۲۲۹۸۵۱۹	۵/۶۸	۰/۰۰۰
خطا	۴۸	۱۸۸۴۲۶۶۶۷	۳۹۲۵۵۵۶	-	-
مجموع	۷۱	۱۲۸۶۶۰۱۸۷۷۵۰	-	-	-

بررسی اثر مستقل نوع ماده نشان می‌دهد که بیشترین مقدار ظرفیت تحمل بار مربوط به اتصالات چندسازه PLT است (شکل ۷). حضور تخته‌لایه در چندسازه $POLT_1$ سبب افزایش ۴۶/۸۷ درصدی ظرفیت تحمل بار این چندسازه نسبت به OLT شده است. این جهش قابل‌توجه را می‌توان به ساختار همگن تخته لایه، خط چسب یکنواخت در آن، دانسیته بیشتر ماده که در افزایش مقاومت تکیه‌گاهی اتصال‌دهنده تأثیرگذار است، نسبت داد. نتایج تحقیق با نتایج مطالعات Han(۲۰۱۶) و Bazu و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد [۱۰ و ۷].



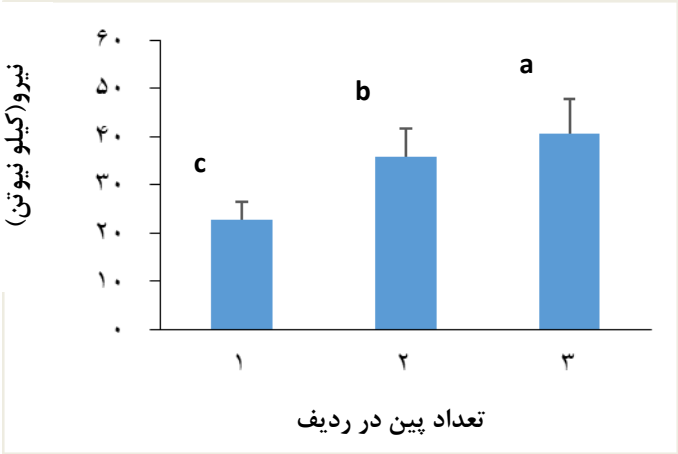
شکل ۷- اثر مستقل نوع ماده بر ویژگی ظرفیت تحمل بار اتصالات در همه تیمارها

افزایش قطر پین از ۶ به ۸ میلی‌متر موجب افزایش ظرفیت تحمل بار اتصالات به میزان ۲۲/۵ درصد شده است. علیرغم اینکه مقاومت تکیه‌گاهی اتصال‌دهنده در محاسبه ظرفیت تحمل بار اتصالات مؤثر است و این ویژگی برای پین استیل ۶ میلی‌متر بالاتر بوده و قبلاً نیز گزارش‌شده است [۱۲]، ولی به دلیل مقاومت کششی بیشتر پین ۸ میلی‌متری و اثر این پارامتر در محاسبه گشتاور حد نهایی، ظرفیت تحمل بار اتصالات با قطر بیشتر پین، بالاتر بوده است (شکل ۸). نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، نتایج تحقیقات Santos و همکاران (۲۰۱۳)، Misconel و همکاران (۲۰۱۶) و Bazu و همکاران (۲۰۱۶) را تائید می‌کند [۶، ۹ و ۷].



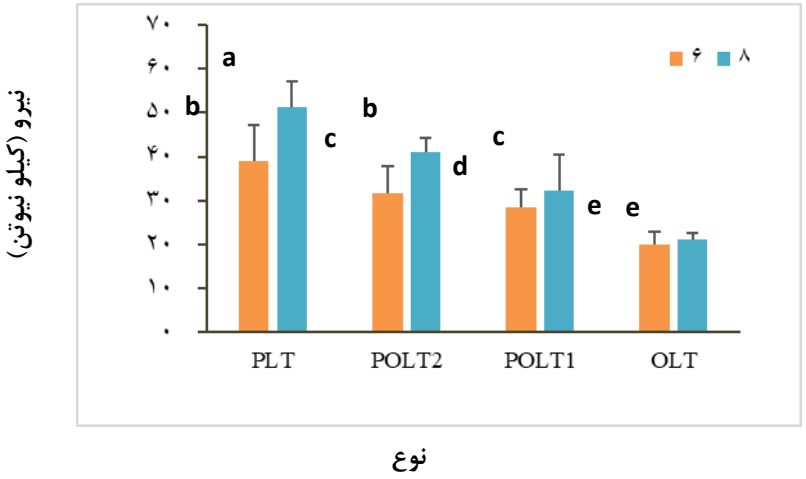
شکل ۸- اثر مستقل قطر اتصال‌دهنده بر ویژگی ظرفیت تحمل بار اتصالات در همه تیمارها

با افزایش تعداد پین در ردیف شاهد افزایش ظرفیت تحمل بار بوده‌ایم (شکل ۹). میزان این افزایش از تعداد یک اتصال‌دهنده در ردیف به تعداد ۲ اتصال‌دهنده در ردیف ۵۸/۲۶ درصد بوده است. وقتی تعداد اتصال‌دهنده به ۳ پین در ردیف رسید، ظرفیت تحمل بار حدود ۱۳ درصد افزایش داشته است. هرچند که این مقدار نسبت به افزایش قبلی کمتر است. مطالعات انجام‌شده توسط Schoanmakhers و Jorrissen (۲۰۱۱) و Sandhaas و همکاران (۲۰۱۷) با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارند [۱۵ و ۱۸].



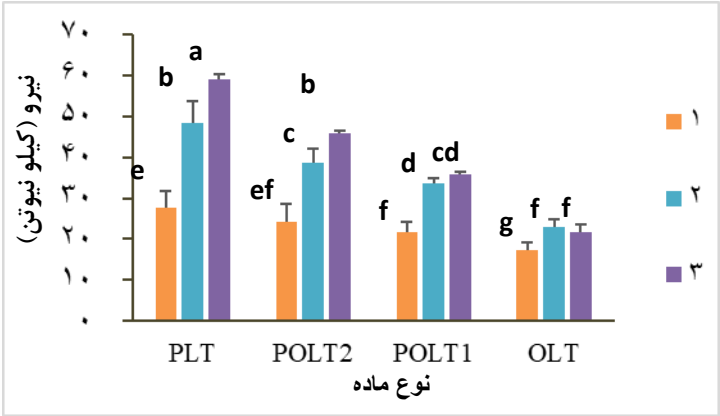
شکل ۹- اثر مستقل تعداد اتصال‌دهنده در ردیف بر ویژگی ظرفیت تحمل بار اتصالات در همه تیمارها

در بررسی اثر متقابل نوع ماده و قطر اتصال‌دهنده، بیشترین ظرفیت تحمل بار مربوط به اتصالات PLT و اتصال‌دهنده با قطر ۸ میلی‌متر بوده است (شکل ۱۰). قابل‌توجه است که اتصالات $POLT_2$ در ترکیب با پین ۸ میلی‌متر نسبت به اتصالات PLT با پین ۶ میلی‌متر، حدود ۶ درصد ظرفیت تحمل بار بیشتری داشته است. این افزایش را می‌توان به حضور اتصال‌دهنده با قطر و مقاومت بالاتر مرتبط دانست که همچنین توانسته است اثر نوع ماده در اتصالات $POLT_1$ را تحت تأثیر قرار داده و ظرفیت تحمل بار را بهبود بخشد و موجب شده این ماده با داشتن سهم بیشتری از OSB با ساختار تراشه‌ای ناهمگن، خط چسب غیریکنواخت، دانسیته و مقاومت تکیه‌گاهی اتصال-دهنده کمتر، ظرفیت تحمل بار مشابه به $POLT_2$ با پین ۶ میلی‌متر داشته باشد. نتایج به‌دست‌آمده با گزارش‌های Mischler و همکاران (۲۰۰۰) و Bader و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد [۱۷ و ۸].



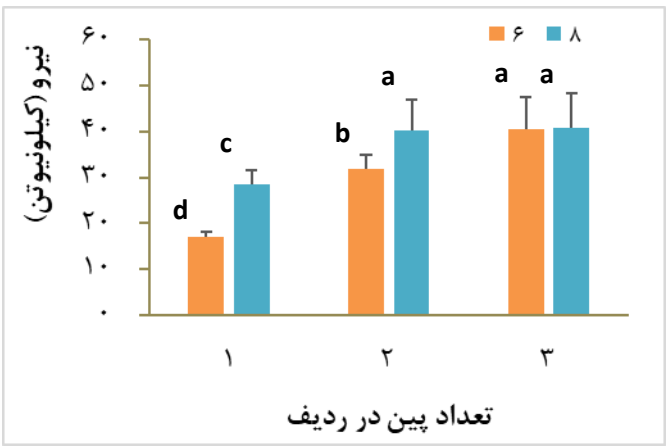
شکل ۱۰- اثر متقابل نوع ماده و قطر اتصال‌دهنده بر ویژگی ظرفیت تحمل بار اتصالات در همه تیمارها

اثر متقابل نوع ماده و تعداد اتصال‌دهنده در ردیف بر ویژگی ظرفیت تحمل بار معنی‌دار بوده است. اتصالات PLT با ۳ پین در ردیف دارای بیشترین مقادیر ظرفیت تحمل بار بوده‌اند (شکل ۱۱). تعداد بیشتر پین در ردیف، اثر کاهشی افزایش سهم OSB در $POLT_1$ را جبران نموده و ظرفیت تحمل بار اتصالات در این چندسازه را تا نزدیک $POLT_2$ با سهم بیشتری از تخته‌لایه بهبود بخشیده است که ازنظر اقتصادی در به‌کارگیری ماده خام ارزان‌تر قابل تامل است. از طرفی اتصالات $POLT_1$ با ۲ پین در ردیف ظرفیت تحمل بار مشابه و تنها حدود ۶ درصد کمتر از $POLT_1$ با ۳ پین در ردیف بوده‌اند. استفاده از تعداد اتصال‌دهنده کمتر و درنتیجه هزینه‌های سوراخ‌کاری کمتر، ازنظر اقتصادی قابل‌توجه خواهد بود. همچنین، حجم ماده چوبی حذف‌شده از اعضای اتصال را کاهش می‌دهد و درنتیجه از شدت ضعف اتصال می‌کاهد. Bruhl(۲۰۱۱) و Jorissen و Schonmakers (۲۰۱۱) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند [۱۹ و ۱۵].



شکل ۱۱- اثر متقابل نوع ماده و تعداد اتصال‌دهنده در ردیف بر ویژگی ظرفیت تحمل بار اتصالات در همه تیمارها

اثر متقابل قطر و تعداد اتصال‌دهنده در ردیف نیز بر ظرفیت تحمل بار اتصالات معنی‌دار بوده است. اتصالات حاوی ۳ پین ۸ و ۶ میلی‌متری و ۲ پین ۸ میلی‌متری در ردیف، در یک گروه قرار گرفتند. در این میان اتصالات دارای ۳ پین ۶ میلی‌متری در ردیف نیازمند توجه بیشترند چراکه، اتصال‌دهنده با قطر و مقاومت کمتر ولی با تعداد بیشتر توانسته است ظرفیت تحمل بار را بهبود بخشد (شکل ۱۲). استفاده از تعداد اتصال‌دهنده بیشتر توانسته است نقش قطر کمتر و همچنین مقاومت پایین‌تر پین ۶ میلی‌متری را جبران نموده و ظرفیت تحمل بار را افزایش دهد. مطالعات Sandhass و همکاران (۲۰۱۷)، نتایج این بخش از تحقیق را تائید می‌کند [۱۸].



شکل ۱۲- اثر متقابل قطر و تعداد اتصال‌دهنده در ردیف بر ویژگی ظرفیت تحمل بار اتصالات در همه تیمارها

اثرات متقابل سه پارامتر نوع ماده، قطر و تعداد اتصال-دهنده در ردیف نیز بر ویژگی ظرفیت تحمل بار اتصالات معنی‌دار بوده است (شکل ۱۳). بر اساس گروه‌بندی مقایسات میانگین، استفاده از تعداد بیشتر پین در ردیف، توانسته اثر مقاومت و قطر کمتر پین‌های ۶ میلی‌متری را جبران نماید تا جایی که این اتصالات ظرفیت تحمل بار در حد اتصالات پین استیل ۸ میلی‌متر و با فراوانی ۲ و ۳ اتصال‌دهنده در ردیف را ارائه داده‌اند. در اتصالات دارای ۳ پین ۶ و ۸ میلی‌متری در ردیف، ظرفیت تحمل بار چندسازه OLT با پین ۸ میلی‌متر، کمتر است. دلیل این کاهش، افزایش سفتی اتصالات با قطر ۸ میلی‌متر و تعداد حداکثر پین در ردیف بوده است. افزایش سفتی اتصالات سبب کاهش تغییر شکل خمشی اتصال‌دهنده و درنتیجه انتقال تنش به اعضا شده و درنهایت شکست در عضو را به دنبال داشته است. نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه با گزارش تحقیقات Mischler و همکاران (۲۰۰۰)، Schonmakers و Jorissen (۲۰۱۱)، Bader (۲۰۱۶) و Han (۲۰۱۶) همخوانی داشته است [۱۷، ۱۵، ۸ و ۱۰]. ولی نتایج به‌دست‌آمده توسط Misconel و همکارانش (۲۰۱۶) با نتایج تحقیق حاضر مغایرت داشته است. در گزارش‌های آنها ارتباط مشخصی بین تعداد اتصال‌دهنده‌ها و پارامتر سفتی اتصالات ذکر نشده‌است. آنها اعلام نمودند که اظهارنظر در این مورد نیازمند مطالعات بیشتری است [۹].

شکل ۱۳- اثر متقابل نوع ماده، قطر و تعداد اتصال‌دهنده در ردیف بر ویژگی ظرفیت تحمل بار اتصالات در همه تیمارها

مدهای شکست اتصالات دوگانه برشی

نمونه‌هایی از فرم شکست اتصالات دوگانه برشی در این مطالعه جهت درک بهتر رفتار شکست قابل‌مشاهده است (شکل ۱۴). به‌طورکلی در اتصالات ساخته‌شده با پین ۶ میلی‌متری با تعداد ۱، ۲ و ۳ اتصال‌دهنده در ردیف، فرم شکست از نوع مُد II، بوده است (رجوع شود به شکل ۲). در بررسی مُدهای شکست اتصالات با پین ۸ میلی‌متری و تعداد ۱ اتصال‌دهنده در ردیف در اتصالات PLT و $POLT_2$ نیز مُد شکست II مشاهده شد. لازم به ذکر است تغییر شکل خمشی در اتصال‌دهنده با زاویه کمتری نسبت به پین استیل ۶ میلی‌متری اتفاق افتاده است. در اتصالات این ترکیبات با تعداد ۲ و ۳ اتصال‌دهنده در ردیف، مُد شکست از نوع I بوده است. همچنین در اتصالات OLT و $POLT_1$ در همه تیمارها مُد شکست I رخداده است که نشان‌دهنده تنش فشردگی در ماده و اتفاق شکست در عضو چوبی است.

شکل ۱۴- مد شکست II در اتصالات با ۳ پین ۶ میلی‌متری (تصویر راست) و ۱ پین ۸ میلی‌متری در ردیف (تصویر چپ)

دلیل این اتفاق، افزایش سفتی اتصالات به دلیل تعداد بیشتر اتصال‌دهنده در ردیف، قطر بالاتر اتصال‌دهنده و درنتیجه محدودیت تغییر شکل خمشی بوده است. همچنین در بعضی تیمارها وجود OSB با دانسیته کمتر و ساختار ناهمگن در لایه میانی اعضای لایه‌ای این امر را تشدید نموده است. یافته‌های تحقیق نتایج مطالعات Mischler و همکاران (۲۰۰۰)، Schonmakers و Jorissen(۲۰۱۱)، Bruhl و همکاران (۲۰۱۱) و Misconel و همکارانش (۲۰۱۶) را تائید می‌نماید [۱۷، ۱۵، ۱۹ و ۹].

نتیجه‌گیری

مقادیر پیش‌بینی EC5 نشان می‌دهند که با افزایش دانسیته چندسازه‌های مهندسی‌شده، افزایش قطر و تعداد اتصال‌دهنده در ردیف، ظرفیت تحمل بار افزایش خواهد یافت. این روند به‌خوبی در همه تیمارها قابل‌مشاهده است. همچنین در برخی تیمارها مقادیر تجربی بیشتر از مقادیر پیش‌بینی است، مانند: اتصالات چندسازه‌های $POLT_1$ با تعداد ۱ و ۲ اتصال‌دهنده ۶ میلی‌متر در ردیف، $POLT_1$، $POLT_2$ و PLT با ۱ اتصال‌دهنده ۸ میلی‌متر در ردیف و OLT با ۱ اتصال‌دهنده ۶ میلی‌متر در ردیف. از طرفی مقادیر ظرفیت تحمل بار سایر اتصالات دارای پین ۸ میلی‌متر و ۳ اتصال‌دهنده در ردیف نسبت به مقادیر پیش‌بینی اختلاف زیادی دارند. دلیل این اختلاف اتفاق شکست در اعضای اتصال به دلیل کاهش انعطاف‌پذیری اتصالات و افزایش سفتی آنها بوده است که، مانع از تغییر شکل پلاستیک همزمان اتصال‌دهنده و ماده چوبی و درنتیجه انتقال تنش به عضو و اتفاق شکست شده است. این تأثیر در ترکیبات با سهم بیشتر OSB بیشتر است. این موضوع نشان‌دهنده اهمیت انتخاب قطر و تعداد اتصال‌دهنده مناسب در ردیف با توجه به نوع چندسازه‌ها است. بررسی رفتار اتصالات تحت بار مؤید این مطلب است که چندسازه‌های مهندسی‌شده $POLT_1$ و $POLT_2$ در اتصالات برشی دوگانه چوب- استیل دارای مقادیر ظرفیت تحمل بار مطابق با مقادیر پیش‌بینی EC5 و یا حتی بیشتر بوده‌اند و بنابراین می‌توانند با ضریب اطمینان بالاتری به‌عنوان ماده اولیه در ساخت اعضای سازه‌های چوبی مورداستفاده قرار گیرند. همچنین بر اساس یافته‌های تحقیق، پین استیل ۶ میلی‌متری اتصال‌دهنده مناسب‌تری برای اتصالات موردبررسی در این تحقیق شناخته‌شده. چراکه، در پیش سوراخ‌کاری محل اتصال‌دهنده، بخشی از بافت ماده چوبی حذف خواهد شد که مقاومت عضو را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ بنابراین به‌کارگیری پین با قطر کمتر، علاوه بر بهبود رفتار منعطف اتصالات، هزینه تمام‌شده پائین تری نیز دارد. پیشنهاد می‌شود برای ممانعت از بروز شکست در عضو چوبی و افزایش انعطاف اتصالات، اثر افزایش فاصله میان اتصال‌دهنده در ردیف موردمطالعه قرارگیرد. همچنین توصیه می‌شود تحقیقات بیشتری بر روی رفتار اتصالات چندسازه‌های ساخته‌شده با ابعاد مقطع بزرگ‌تر صورت گیرد. در مطالعات بعدی می‌توان برای دستیابی به طول بیشتر چندسازه‌های مهندسی‌شده معرفی‌شده در این تحقیق، روش‌های متفاوت اتصال را موردبررسی قرارداد. بررسی سایر ویژگی‌های مکانیکی همچون خمش تحت بار در چندسازه‌های مهندسی‌شده موردمطالعه در این تحقیق جهت کاربرد متنوع در سایر سازه‌های چوبی مانند تیرها می‌تواند نتایج جدیدی را به دنبال داشته باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که مراتب تشکر صمیمانه خود را از جناب آقای دکتر حمیدرضا عدالت، عضو هیئت‌علمی و استادیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب دانشکده مهندسی چوب و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، برای زحمات بی‌دریغ و حمایت همه‌جانبه ایشان در انجام و ارتقاء کیفی این پژوهش، اعلام نمایند. همچنین نویسندگان از جناب آقای دکتر علیرضا فدایی، دانشیار و مدیر دپارتمان طراحی سازه دانشگاه تکنیکال وین، اتریش، برای راهنماییهای ارزشمند ایشان به‌ویژه در مورد کدهای طراحی اروپایی، نهایت تشکر را دارند.

منابع

[1] González, J.L., Dominguez, M., Cabezas, J.A., and Rubio, M.P., 2009. Design of Connections with Metal Dowel-Type Fasteners in Double Shear. Materials and Structures, 42: 385-97.

[2] Ebrahimi, Gh., 2009. Engineering Design of Wood Structures. University of Tehran Press, Tehran, IRAN, 991 p. (In Persian).

[3] New Building System, 2009. Building and Housing Research Center, Tehran, IRAN, 220 p. (In Persian)

[4] Thelandersson, S., and Hans, L.J., 2003. Timber Engineering. John Wiley & Sons Ltd, England, 456 p.

[5] Porteous, J., and Kermani, A., 2007. Structural Timber Design to Eurocode 5. Wiley-Blackwell, England, 556 p.

[6] Santos, C., Jesus, A., Morais, and J., Fontoura, B., 2013. An Experimental Comparison of Strengthening Solution for Dowel- Type Wood Connections. Journal of Construction and Building Materials, 46:114–127.

[7] Bazu, G., Mahjourian, S., Wehsener, J., Hartig, J., and Haller, P., 2016. An Analytical, Numerical and Experimental Study of Non- Metallic Mechanical for Engineering Timber Constructions. World Conference on Timber Engineering. Aug.22-25 Vienna, Austria, p 198-209.

[8] Bader,T.K., Schweigler, M., Hochreiner, G., Serrano, E., Enquist, B., and Dorn, M., 2016. Exprimental Characterization of the Global and Local Behavior of Multi- Dowel LVL- Connections under Complex. Materials and Structures, 49: 2407-2424.

[9] Misconel, A., Ballerini, M., and Kuilen, J.W., 2016. Steel- To- Timber Joints of Beech- LVL with Very High Strength Steel Dowels. World Conference on Timber Engineering. Aug.22-25 Vienna, Austria. P 224-239.

[10] Han, Xu.B., Yuan, D.W., Bouchair, A., and Racher, P., 2016. Stiffness of Dowelled Steel- to- Timber Joints. World Conference on Timber Engineering. Aug.22-25 Vienna, Austria. P 303-314.

[11] BSI. Bs En 1995-1-1. 2010. Eurocode 5. Design of timber structures. General. Common rules and rules for buildings BSI.

[12] Reisi, M., Khazaeian, A., and Madhoushi, M., 2018. Investigation of Embedment Strength of Metal Fasteners in Wood Engineered Products and Comparison with EC5 Predicted Values. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 9 (1): 87-101.

[13] Kobel, P., Frangi, A., and Steiger, R., 2016. Timber Trusses Made of European Beech LVL. World Conference on Timber Engineering. Aug.22-25 Vienna, Austria. P 344-359.

[14] Johansen KW. 1949. Theory of timber connections. Int Assoc Bridge Struct Eng, IABSE, 9:249–62.

[15] Schoenmakers, J.C.M., and Jorissen, A. J. M., 2011. Failure Mechanisms of Dowel-Type Fastener Connections Perpendicular to Grain. Engineering Structures, 33(11): 3054-63.

[16] Bader, T., Schweigler, M., Hochreiner, G., Serrano, E., Enquist, B and Dorn, M., 2015. Dowel Deformation in Multi- Dowel LVL- Connections under Moment Loading. Journal of Wood Material Science and Engineering, 3:216–231.

[17] Mischler, A., Prion, H., and Lam, F., 2000. Load-Carrying Behaviour of Steel-to-Timbe Dowel Connection. World conference on timber engineering, July. 31-August 3 Whistler Resort, British Columbia, Canada.

[18] Sandhaas, C., and Kuilen, Jw., 2017. Strength and Stiffness of Timber Joints with Very High Strength Steel Dowels. Engineering Structures, 131: 394- 404.

[19] Brühl, F., Kuhlmann, U., and Jorissen, A., 2011. Consideration of Plasticity within the Design of Timber Structures Due to Connection Ductility. Engineering Structures 33(11): 3007-17.

[20] Wood-based panels. 1993. Determination of density, BS EN 323.

[21] Structural timber. 2013. Sizes, permitted deviations, BS EN 336.

[22] Test methods. 2007. Determination of embedment strength and foundation values for dowel type fasteners, BS EN 38.

[23] Timber structures - Test methods - Load bearing nails, screws, dowels and bolts. 2009. DIN, En 1380.

[24] Edalat, H.R., and Reisi, M., 2018. Performance Improvement of PVAc Glue in Wood Finger Joints by Using Isocyanate as a Hardener. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 9(4): 585- 596.

[25] Test methods. 2009. Determination of the yield moment of dowel type fasteners. BSI, Bs En 409.

[26] BSI. Bs En 26891:1991, Iso 6891. 1983. Joints made with mechanical fasteners. General principles for the determination of strength and deformation characteristics.

Double Shear Steel-To- Timber Connections Design and Investigation of their Load Carrying Capacity According to EC5

Abstract

The purpose of this study was to predict and evaluate the load carrying capacity of double shear connections of hybrids wood products in combination with steel dowel and plates based on European codes (EC5). The main variables were layered hybrids (4 levels), fastener diameter (2 levels) and fastener number in raw (3 levels). For this study, new types of engineered wood products were used in which plywood and OSB were joined together as three-layer structural components by a single component of polyurethane resin. The fastener was steel dowel, 6 and 8 mm in diameter and a 4 mm thick steel plate. The values of the load carrying capacity of the connections were predicted based on EC5 equations and Johansen failure modes. The test specimens were loaded according to EN 26891 to investigate the effect of the research parameters. The results showed that the effect of the increasing of plywood share especially in the middle layer of the new hybrids was significant on the increasing of load bearing capacity of the joints. Increasing the diameter of the connector from 6 to 8 mm also increased the load bearing capacity of the joints. Also, as the number of pins in the row increases, the load bearing capacity of the joints increases. The research findings indicate that the formulas provided by EC5 have the ability to predict the strength and behavior of the joints and even in some treatments the experimental values were higher than the predicted ones. POLT1 and POLT2 composites in double shear connections have load bearing capacity values close to the EC5 predicted values and also more than it. In studying the failure modes of the connections, steel dowels of 6 mm showed a better performance.

Keywords: Double shear connections, Hybrid Composites, load carrying capacity, EC5, steel plate and dowel, failure.

M. Reisi[1*]
A. Khazaeian[2]
M. Madhoushi[2]

[1] PhD, Wood Based Composites, Wood Technology and Engineering Department, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan. Iran

[2] Associated Professor, Wood Technology and Engineering Department, Faculty of Wood and Paper Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan. Iran

Corresponding author:
mareisi@ut.ac.ir

Received: 2019/08/22
Accepted: 2019/12/09