تحلیل توزیع تنش و پیش‌بینی شکست در اتصال پیچ به روش عناصر محدود

امیر لشگری[۱*]، حبیب الله خادمی‌اسلام[۲]، امیرهومن حمصی[۲] و محمد طلایی‌پور[۳]

۱*) استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران.
نویسنده مسئول مکاتبات: amir.lashgari@kiau.ac.ir
۲) دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
۳) استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۸۹/۰۸/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۰/۰۱/۲۷

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی نحوه توزیع تنش، تمرکز تنش و پیش‌بینی محل‌های شکست در اتصال پیچ تحت مقاومت کششی و گشتاور خمشی بوده که برای این منظور اثر قطر پیچ در دو مقدار ۴ و۵ میلی‌متر و نوع گونه چوبی راش، توسکا و نوئل بر مقاومت کششی و گشتاور خمشی بررسی شده است. برای ساخت اتصالات T شکل ابعاد عضو اتصال مورد بررسی ۲/۵×۵×۵ سانتی‌متر بوده است. از ترکیب عوامل متغیر فوق ۶ ترکیب عوامل به‌وجود آمد که با توجه به ۴ تکرار، در مجموع ۲۴ نمونه T شکل ساخته و مقاومت کششی و گشتاور خمشی به وسیله ماشین آزمون مکانیکی اندازه‌گیری شد. برای اعمال نیروهای مورد نظر برای بررسی مقاومت‌های مزبور از سرعت بارگذاری معادل با ۱/۲۵ میلی‌متر بر دقیقه استفاده شد. برای بررسی توزیع تنش و تمرکز تنش در اتصالات از روش عناصر محدود و نرم‌افزای ANSYS استفاده گردید. با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی المانی از اتصال که تنش حداکثر را تحمل می‌کند با المانی که در اتصال واقعی دچار شکست می‌شوند، مطابق است. توزیع تنش در قسمت میانی پیچ در اعمال بار خمشی حداکثر است و تمرکز تنش در فواصل رزوه‌های پیچ می‌باشد. در بررسی بار کششی نیز تمرکز تنش حداکثر در فواصل رزوه‌های پیچ مشاهده می‌شود که در حالت تجربی نیز شکست در محل شیارهای ایجاد شده در چوب به وسیله رزوه‌های پیچ دیده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اتصال پیچ، مقاومت کششی، گشتاور خمشی، روش عناصر محدود، تنش.

مقدمه

در تمام سازه‌های چوبی، قطعات به طریقی به یکدیگر وصل شده‌اند و اتصالات یکی از بخش‌های اصلی و حلقه‌های حساس بین عناصر یک سازه هستند. اتصالات بار وارده را به طور پیوسته تحمل کرده و بنیان سازه را به وجود می‌آورند. گردش ساختار لوازم خانگی به سمت خرابی منجر به این باور شده که باید به دنبال اتصالات قوی‌تری بود. از آنجایی که در سازه‌های چوبی اتصالات به سازه زیبایی و استحکام می‌بخشند و تأمین کننده تمامیت و سلامت آن هستند، کم بها دادن به اهمیت طراحی اتصالات در سازه‌های چوبی و درستی اتصالات تأکیدی بر نقاط ضعف آن خواهد افزود. برای انجام درست طراحی مهندسی سازه‌های چوبی باید از اصول اساسی مربوط به اتصالات آگاهی یافت. در طراحی توجه به سه عامل: شکست اتصالات؛ بهینه کردن مصالح چوبی در اتصالات و طراحی نادرست یا ضعف عمل در ساخت اتصالات بسیار مهم است. ادبیات موجود در خصوص طراحی

Archive of SID

www.SID.ir

مهندسی اتصالات در سازه مبلمان بسیار محدود است. مطالعات کمی برای پیدا کردن حداکثر بار وارد بر انواع اتصالات (تنش حداکثر) و برحسب اندازه آنها صورت گرفته است و برای فرموله کردن روابط محاسبات طراحی و همچنین روش‌های محاسبات عددی و به‌کار بردن نرم‌افزارهای مهندسی مکانیک و عمران به منظور بررسی و طراحی مجازی مقاومت‌های اتصالات از جمله نرم‌افزارهایی چون ANSYS تلاش زیادی صورت نگرفته است. علت در این ارتباط کم و ناکافی بودن مشاهدات تجربی و زیاد بودن متغیرهای درگیر در منابع مربوط، قید شده است (Eckelman, 2007).

Erdill (2004) مقاومت کششی و گشتاور خمشی اتصال پیچ را در راش، بلوط و کاج مورد برآورد قرار داده است. در این مطالعه قطر پیچ‌ها (۵، ۶ و۷ میلی‌متر) با طول ۷۰ میلی‌متر انتخاب شد. در این تحقیق برای بررسی مقاومت‌های مزبور از دستگاه آزمون مکانیکی با سرعت بارگذاری ۱/۲۵ میلی‌متر بر دقیقه استفاده شد. نتایج تجربی با معادلات ارایه شده توسط (2007) Eckelman مقایسه شد که اختلافی در حدود ۷ تا ۲۵ درصد را نشان داد. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که اتصالات ساخته شده از راش با پیچ‌هایی به قطر ۷ میلی‌متر بالاترین استحکام را نشان می‌دهد و کاج با پیچ‌هایی به قطر ۵ میلی‌متر کمترین مقاومت را دارد.

Johnson (1967) توانایی نگهداری پیچ را در تخته چند لایه با اندازه‌های مختلف پیچ بررسی کرد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که مقاومت مواد متناسب با اندازه پیچ متفاوت است. همچنین تفاوت کمی بین پیچ‌های نوع ورقه فلز، پیچ‌های چوبی و پیچ‌های مته سرخود در زمان کشیده شدن از تخت لایه مشاهده شده است. (1990) Wilkinson & Latsch مقاومت جانبی و کششی پیچ را در سه دانسیته چوب بررسی کردند. آنها دریافتند که با افزایش دانسیته، مقاومت اتصالات در برابر بارهای جانبی و کششی پیچ که به اتصالات وارد می‌شود، افزایش می‌یابد. همچنین بار جانبی بر روی پیچ‌های ضربه‌ای به صورت فعلی متفاوت بوده و این موضوع برای پیچ‌های چوبی نیز واقعیت دارد.

Smardzewski & Papuga (2004) توزیع تنش را در سه اتصال جدا شونده مبلمان از جنس چوب، فلز و پلاستیک مورد بررسی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که در اتصال فلزی میزان جابه‌جایی اتصال بیشتر بوده و شکست دیرتر اتفاق می‌افتد، و اتصال چوبی نیروی بیشتری را تحمل می‌کند ولی سریع‌تر شکسته می‌شود. در این تحقیق روش تجربی و روش عناصر محدود (FEM) به صورت مدل با هم مقایسه شده است.

مواد و روش‌ها

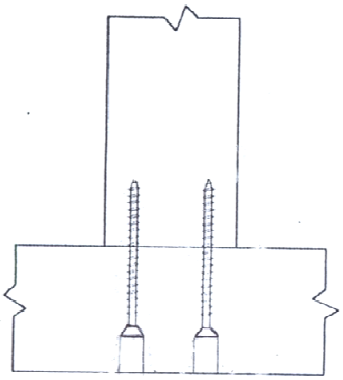
مواد اولیه مورد استفاده در این تحقیق عبارت از چوب گونه‌های راش، توسکا و نوئل و پیچ می‌باشند. پیچ‌های مورد استفاده در این تحقیق دارای قطرهای ۴ و ۵ میلی‌متر و طول ۵ سانتی‌متر و فاصله بین پیچ‌ها ۲سانتی‌متر می‌باشد. شکل و ابعاد نمونه‌های آزمایشی برای اتصالات دوبل ۵×۵×۲/۵ سانتی‌متر تهیه شدند. برای تهیه اتصالات نمونه‌های آزمایشی T شکل ساخته شد (شکل۱) و پس از آن به مدت یک ماه در محیط آزمایشگاه متعادل‌سازی شدند.

لازم به ذکر است که روش ساخت اتصالات و انجام آزمون توسط Eckelman (2007) و (2009)

Archive of SID

www.SID.ir

Norwydas در بررسی مقاومت اتصالات چوبی مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۱. نمونه آزمایشی T شکل در اتصالات پیچ

برای اعمال بارهای کششی و گشتاور خمشی از دستگاه آزمون مکانیکی استفاده شد. سرعت بارگذاری مطابق تحقیق Eckelman (2007) و Ebrahimi (2010) برای بررسی مقاومت کششی اتصال دوبل در تخت لایه و O.S.B ۱/۲۵ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم شد. برای بررسی توزیع تنش و شبیه‌سازی اتصالات از روش عناصر محدود و نرم‌افزار مهندسی ANSYS استفاده شد. به منظور تجزیه وتحلیل آماری نتایج از روش آزمون تجزیه واریانس استفاده شد.

نتایج

بررسی حاصل از آزمایش‌های مکانیکی

در این بررسی برای تجزیه و تحلیل اثرات مستقل و متقابل عوامل متغیرها بر مقاومت کششی و گشتاور خمشی از آزمون تجزیه واریانس استفاده شده است. چنانچه از جدول ۱ مشخص است در گونه‌های مختلف اثر متغیر مستقل قطر پیچ بر مقاومت کششی، قطر پیچ و گونه در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است.

جدول ۱. تجزیه و تحلیل اثرات مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت کششی اتصالات مورد بررسی

عوامل متغیر مستقل و متقابل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
قطر پیچ	۴۸۲۲/۳۳۵	۲	۴۸۲۲/۳۳۵	۳۰/۸۶۸	۰/۰۰۰۱
گونه	۱۰۰۹۹۷/۲	۲	۵۰۴۹۸/۵۸۱	۳۲۳/۲۴۸	۰/۰۰۰۱
قطر پیچ و گونه	۳۷۰/۷۱۲	۴	۱۸۵/۳۵۶	۱/۱۸۶	۰/۰۰۰۱

جدول ۲. تجزیه و تحلیل اثرات مستقل و متقابل عوامل متغیر گشتاور خمشی اتصالات مورد بررسی

عوامل متغیر مستقل و متقابل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
قطر پیچ	۱۲۵۱/۶۵۹	۲	۱۲۵۱/۶۵۹	۱۹/۱۲۶	۰/۰۰۰۱
گونه	۱۲۹۳۱/۲۹۵	۲	۶۴۶۵/۶۴۷	۹۸/۷۶۹	۰/۰۰۰۱
قطر پیچ و گونه	۹۴۰/۲۳۹	۴	۴۷۰/۱۱۹	۷/۱۸۳	۰/۰۰۰۱

همچنین با توجه به نتایج جدول ۲ ملاحظه می‌گردد که در گونه‌های مختلف اثر متغیر مستقل قطر پیچ و گونه، و قطر پیچ و گونه بر گشتاور خمشی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است.

مقایسه مدل‌های تجربی و عناصر محدود

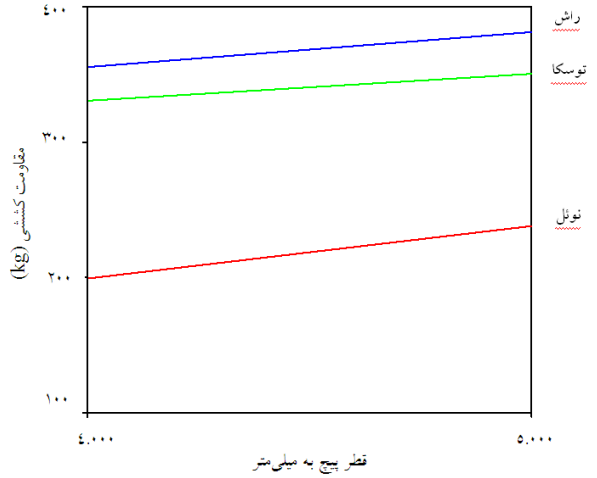
به منظور مقایسه نتایج شبیه‌سازی با نتایج تجربی، مدل‌های تجربی با مدل‌های عناصر محدود مقایسه شد.

به طوری که مدل‌های تجربی نشان‌دهنده مقاومت اتصالات و مدل‌های عناصر محدود

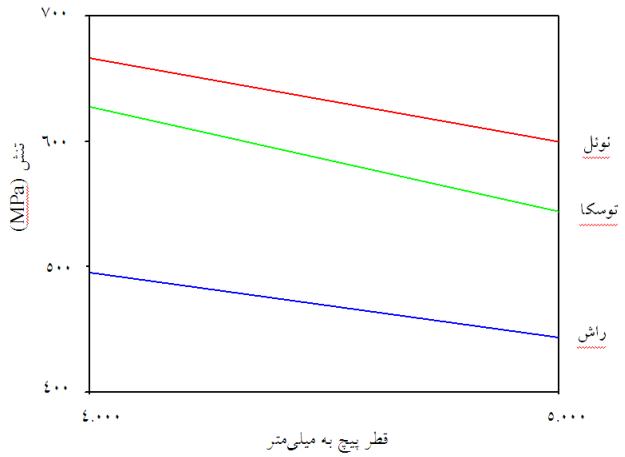
Archive of SID

www.SID.ir

نشان‌دهنده میزان تنش در اتصالات در اثر اعمال بار ثابتی هستند. با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود با افزایش قطر پیچ در هر سه گونه مورد بررسی مقاومت کششی افزایش می‌یابد. در شکل ۳ نیز با افزایش قطر پیچ میزان تنش کاهش می‌یابد. بنابراین مدل تجربی بر مدل عناصر محدود منطبق است.



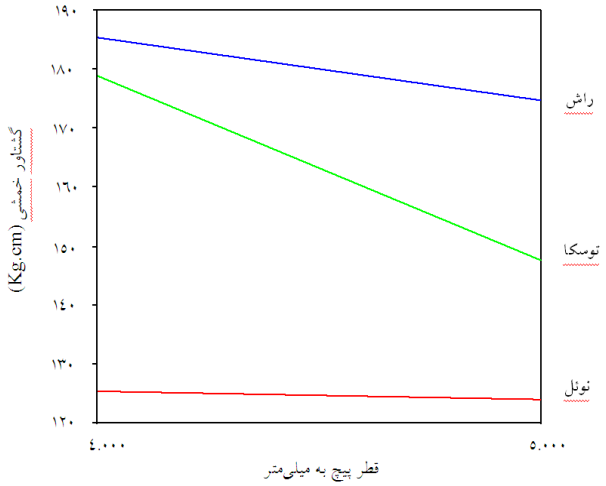
شکل ۲. تغییرات مقاومت کششی در اتصال پیچ (روش تجربی)



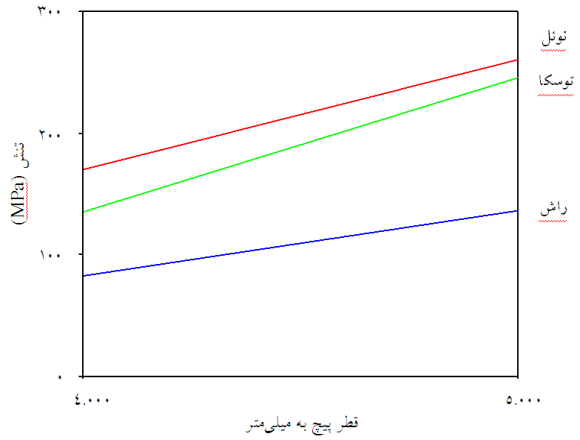
شکل ۳. تغییرات تنش در اعمال بار کششی در اتصال پیچ (روش عناصر محدود)

در مورد بررسی گشتاور خمشی همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود با افزایش قطر پیچ از ۴ به ۵ میلی‌متر مقاومت خمشی کاهش می‌یابد و این روند در هر سه گونه مورد بررسی قابل مشاهده است.

www.SID.ir



شکل ۴. تغییرات گشتاور خمشی در اتصال پیچ (روش تجربی)



شکل ۵. تغییرات تنش در اعمال گشتاور خمشی در اتصال پیچ (روش عناصر محدود)

در شکل ۵ مشاهده می‌گردد که با افزایش قطر پیچ میزان تنش افزایش می‌یابد. به طور کلی مدل تجربی بر مدل عناصر محدود منطبق است.

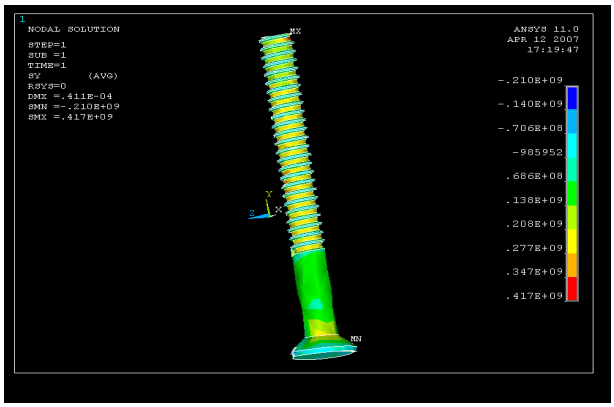
تحلیل توزیع تنش و پیش‌بینی شکست در اتصال پیچ به روش عناصر محدود

به منظور بررسی توزیع تنش و پیش‌بینی شکست در اتصالات، مدل‌های عناصر محدود و مدل‌های شکست در حالت تجربی با هم مقایسه شدند.

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود تمرکز تنش در فواصل بین رزوه‌های پیچ می‌باشد و در این نواحی تنش حداکثر است.

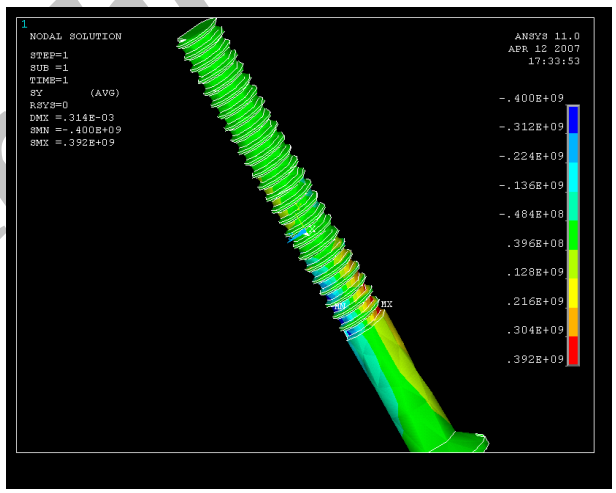
این امر در شکل ۷ که نحوه شکست اتصال پیچ را در اعمال با کشش نشان می‌دهد قابل ملاحظه است که جدا شدن در قسمت شیار ایجاد شده در چوب توسط رزوه‌های پیچ مشاهده می‌شود.

www.SID.ir



شکل ۶. تغییرات توزیع تنش در پیچ در بررسی مقاومت کششی

شکل ۷. نحوه شکست و جدایی در اتصال پیچ در بررسی مقاومت کششی



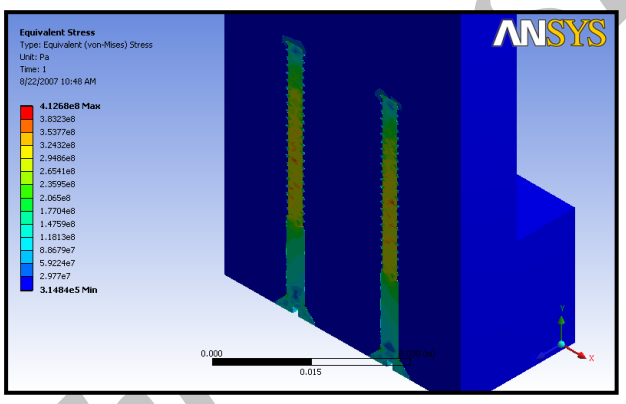
شکل ۸. تغییرات توزیع تنش در پیچ در بررسی مقاومت گشتاور خمشی

همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود تمرکز تنش در قسمت میانی پیچ در اعمال بار خمشی می‌باشد که تنش در فواصل رزوه‌های پیچ قابل مشاهده است. در شکل ۹ نحوه جدا شدن

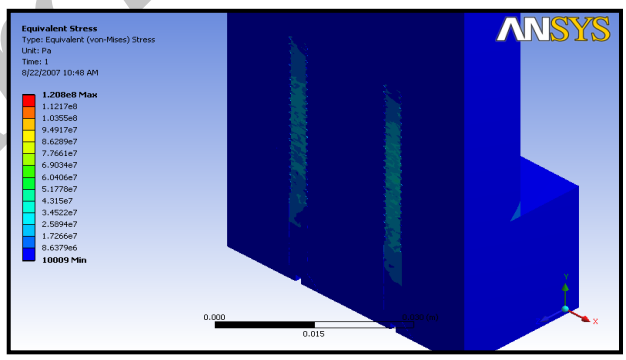
Archive of SID
www.SID.ir

اتصالات به صورت تجربی قابل مشاهده می‌باشد. منطبق بودن مدل عناصر محدود بر مدل تجربی نشان‌دهنده قابل استفاده بودن روش عناصر محدود در بررسی مقاومت مکانیکی اتصالات می‌باشد.

شکل ۹. نحوه شکست و جدایی در اتصال پیچ در بررسی مقاومت گشتاور خمشی



شکل ۱۰. تغییرات توزیع تنش در اتصال پیچ در بررسی مقاومت کششی



شکل ۱۱. تغییرات توزیع تنش در اتصال پیچ در بررسی گشتاور خمشی

همانطوری که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود تمرکز تنش در اتصال پیچ در عضو پیچ بوده و تنش زیادی به عضوهای اتصال وارد نمی‌شود. شکل ۱۱ نشان‌دهنده این موضوع است که در اتصال پیچ تحت تأثیر بار خمشی تمرکز تنش در قسمت میانی پیچ بوده و گسیختگی در محل

www.SID.ir

شیارهای ایجاد شده توسط رزوه‌های پیچ در چوب در این محل رخ می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

در اتصالات پیچ در بررسی مقاومت کششی در قطرهای ۴ و ۵ میلی‌متر مقاومت کششی در گونه راش بیشتر از توسکا و توسکا بیشتر از نوئل است. با افزایش قطر پیچ مقاومت کششی اتصالات افزایش می‌یابد که نتایج حاصل با نتایج Erdill (2004) مطابق بوده و می‌تواند ناشی از افزایش محیط پیچ در قسمت انتهایی آن باشد که به صورت مانعی از حرکت پیچ در عضو اتصال جلوگیری کرده، و پیچ با قطر ۴ میلی‌متر در عضو اتصال راحت‌تر جابه‌جا می‌شود. توزیع تنش در اتصالات پیچ در عضو پیچ و در شیارهای ایجاد شده در چوب می‌باشد که جداشدن پیچ در عضوها و شکست و جدایی اتصالات نیز در این محل صورت می‌گیرد. به طور کلی در اتصالات پیچ در هر دو بررسی مقاومت کششی و گشتاور خمشی حداکثر تنش در عضو پیچ متمرکز بوده و تنش در عضوهای اتصال در سرتاسر عضوها یکسان است. در بررسی مقاومت خمشی در اتصالات پیچ با افزایش قطر پیچ گشتاور خمشی کاهش می‌یابد که با نتایج Erdill (2004) مغایرت می‌نماید. می‌توان این موضوع را به این صورت جستجو کرد که پیچ‌های مورد استفاده با قطر ۵ میلی‌متر تفاوت قطر پیچ در قسمت محور و ریشه پیچ (برای ایجاد حفره در چوب مته مورد استفاده متناسب با قطر قسمت محور پیچ است) باعث عدم وارد شدن تمام ارتفاع آج‌های پیچ در قسمت ریشه پیچ در عضو اتصال می‌شود و با افزایش قطر پیچ، قطر حفره نیز افزایش می‌یابد که این امر باعث ضعیف شدن عضو و اتصال در برابر بار خمشی می‌شود. در گشتاور خمشی نیز توزیع تنش در میانه عضو پیچ و شیارهای این نواحی در چوب است.

منابع

1) Ebrahimi, G., 2010. Engineering design of furniture structure. Publication of University of Tehran.
2) Eckelman, A., 2007. Text book of product engineering and strength design of furniture Purdue University. West lafyette, IN.
3) Erdill, Y., 2004. Withdrawal strength and moment resistance of screwed T-type-end-to-side grain furniture joints Forest Produce Journal, 154(11): 91-97.
4) Johnson, J. W., 1967. Screw holding ability at particle box and plywood keep. T-22. Resources lab, Oregon State University. Corral's, OR.
5) Norwydas, V., 2009. The influence of Glued Dowel joints construction on the bending moment resistant. Materials Science, 11 (1): 36-39.
6) Smardzewski, j., and Papuga, T., 2004. Stress distribution furniture electronic journal of polish agricultural University. Wood Technology, 17(1): 12. Retrieved from http://www.ejpav.media.pl/
7) Wilkinson, T. L., and latsch, T. R., 1990. Lateral and withdrawal resistance of tapping screws in three densities of wood. Forest produce, (20) 7: 34-41.

Archive of SID
www.SID.ir

Stress Analysis and Failure Prediction of Screw Joint by FEM

A. Lashgari[1*], H. Khademi–Eslam[2], A. H. Hemmasi[2], and M. Talaeipoor[3]

1*) Assistant professor, Department of Wood and Paper Science, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran. Corresponding Author: amir.lashgari@kiau.ac.ir

2) Associate professor, Department of Wood and Paper Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3) Assistant professor, Department of Wood and Paper Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Abstract

In this study, distribution and tension concentration are analyzed in dowel joint. In current research, the effect of screw diameter are 4, 5 mm and type of woods are fugues oriental is, Alnus subcordata and white spruce on tension resistance and bending moment were tested. The dimensions for malting T-form joints were 5×5×2/5 wooden dowel used in this research was carpinus betulus which is the common dowel in malted. Also, Poly-vinyl acetate was used in Joints. The combination of above said factors in dowel joint 6 male totally 24 T sample by 4 repetitions and tension resistance and bending moment were measured by mechanical test machine. For exertion strength in order to analyze the aforementioned resistance, loading speed equal to 1.25 mm/min was used. Also, for analyzing the way of distribution and tension concentration in joint and changing process of tension base on changing the variables in this research finite element method and ANSYS Software were used. Based on the findings, the German modeling of joint which endures the maximum tension is equal to the type being used in real joints. Distribution of tension in the middle of the bending moment depths is maximum and tension in screw joints is consent Reid in failure Points.

Keywords: Screw Joint, Tension, Bending Moment, Stress, Finite Element Method.

Archive of SID

www.SID.ir