

L. Shahbazi

Department of Civil
Engineering, Nour branch,
Islamic Azad University, Nour,
Iran.

e-mail:

lidashahba-zi88@gmail.com

S. Rahimi*

Department of Civil
Engineering, School of
Engineering, Islamic Azad
University, Nour Branch, Nour,
Iran.

e-mail:

sepideh.rahimi@iau.ac.ir

M. Hoseinzadeh

Department of Civil
Engineering, Islamic Azad
University, Nour Branch, Nour,
Iran.

e-mail:

m_hoseinzadeh@iaunour.ac.ir

R. Rezaeyan

Department of Math science,
Islamic Azad University Nour,
Branch, Nour, Iran.

e-mail:

r_rezaryan@iaunour.ac.ir

**Optimal Design of Tensile Steel Members by
Improving the Regulations of Codes Regarding
the Correction of Shear Lag**

The non-uniform stress distribution that occurs in a tension member adjacent to a connection, in which all elements of the cross section are not directly connected, is commonly referred to as the shear lag effect. This effect reduces the design strength of the member because the entire cross section is not fully effective at the critical section location. This phenomenon has long been taken into account in various structural codes, however the rules of the codes used are somewhat conservative and it seems that they need to be reviewed. In this research, a series of steel box section connected through two wings and plate sections were studied through finite element method using ABAQUS software, and the ultimate member capacity was obtained. It can be seen that in this regard the relationship between the rules is somewhat conservative and optimized relationships have been proposed to address this issue. Parameters used include connection length, axial force eccentricity, and weld size. The results show that the length of the connection, the gusset plate thickness and also the eccentricity have a significant influence on the shear latency coefficient.

Keywords: Shear Lag, Tensile members, Net cross section failure, Box section, Welded connection.

* Corresponding author

Received 15 June 2022, Accepted 03 August 2022.

DOI: 10.22091/cer.2022.8310.1406

طراحی بهینه مقاطع فولادی کششی از طریق بهبود روابط آیین‌نامه در خصوص اصلاح ضریب تأخیر برشی

پدیده تأخیر برشی هنگامی رخ می‌دهد که تمام اجزای مقطع کششی در انتقال نیروی کششی سهیم نباشند، در نتیجه در نزدیکی اتصال عضو به ورق گاست تمرکز تنش رخ داده است و این پدیده موجب شکست مقطع می‌شود. این پدیده مدت‌هاست که در آیین‌نامه‌ها مورد توجه قرار دارد، لیکن ضوابط آیین‌نامه‌ای مورد استفاده تا حد زیادی محافظه‌کارانه بوده و به نظر می‌رسد که اصلاحاتی در مورد آنها باید صورت پذیرد. در این تحقیق تعدادی مقاطع قوطی با اتصال اصطلاحاً چاقویی بدون جوش برگشتی و اتصال از طریق دو بال و مقطع تسمه کششی به روش اجزای محدود با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS بررسی و مدل‌سازی شده و ظرفیت عضو با استفاده از سطح مقطع خالص آنها به‌دست آمده است، دیده می‌شود که در این خصوص، رابطه آیین‌نامه تا حدودی محافظه‌کارانه است و برای این منظور، روابط بهبود یافته‌ای ارائه شده است. پارامترهای مورد استفاده شامل طول اتصال، برون محوری نیروی محوری و اندازه جوش هستند. نتایج نشان می‌دهند طول اتصال، ضخامت گاست و همچنین برون محوری تأثیر محسوسی بر ضریب تأخیر برشی داشته و در ادامه نتایج به‌دست آمده با پیش‌بینی‌های آیین‌نامه مقایسه شده و روابط جایگزینی ارائه گردید.

واژگان کلیدی: تأخیر برشی، اعضای کششی، شکست مقطع خالص، مقطع قوطی، اتصال جوشی

کششی عضو در بر اتصال دچار شکست می‌شود مهم‌ترین دلیل برای بروز شکست در مقطع خالص عدم مشارکت تمام اجزای مقطع در انتقال نیروی کششی به ورق گاست است. به همین جهت در مقطع بر اتصال تمرکز تنش رخ‌داده و مقطع را مستعد شکست می‌کند که به چنین پدیده‌ای تأخیر برشی گفته می‌شود که هدف مقاله حاضر تحلیل پارامتری این پدیده در مقاطع تسمه و قوطی‌های مستطیلی است.

مطالعه روی اعضای کششی از اواسط قرن بیستم به‌صورت خاص آغاز شد که در ادامه خلاصه‌ای از

لیدا شهبازی

دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور.
پست الکترونیک:
lidashahbazi88@gmail.com

سپیده رحیمی*

استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور.
پست الکترونیک:
sepideh.rahimi@iau.ac.ir

محمد حسین زاده

استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور.
پست الکترونیک:
m_hoseinzadeh@iaunour.ac.ir

رمضان رضاییان

استادیار، دانشکده ریاضی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور.
پست الکترونیک:
r_rezaeyan@iaunour.ac.ir

۱- مقدمه

در طراحی اعضای کششی باید مودهای شکست مختلف در نظر گرفته شوند، این مودها عبارت است از تسلیم مقطع کلی عضو، شکست عضو در محل اتصال و شکست برشی و برش قالبی. در این مقاله تمرکز اصلی روی مود دوم قرار دارد در این مود شکست، مقطع

* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۵، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۲

(DOI): 10.22091/cer.2022.8310.1406 شناسه دیجیتال

است. اوربیسون^۴ و همکاران در سال ۱۹۹۸ آزمایشاتی را روی اتصالات مقطع WT و نبشی‌های تک انجام دادند، مودهای شکست در این سری آزمایش‌ها برش قالبی، شکست مقطع خالص و تسلیم کلی عضو بوده است [۵]. براساس این آزمایش‌ها ضوابط آیین‌نامه‌ای LRFD-AISC به صورت میانگین برای WTها محافظه‌کارانه است ولی با توجه به آزمایش‌ها، روابط آیین‌نامه برای تک نبشی‌ها نتایج کمی غیرمحافظه‌کارانه به دست می‌دهد. در این آزمایش‌ها تسلیم گسترده در طول صفحه برشی دیده نشد و تنها به صورت موضعی در کنار پیچ‌ها این پدیده ملاحظه گردید. در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۴ که توسط هامفریز^۵ و همکاران صورت گرفته است، عملکرد کششی اتصالات جوشی مقاطع مختلف نظیر ورق، ناودانی تک و دوبل با شکل‌های مختلف اتصال، نبشی‌ها و HSS^۶ بررسی و مقایسه شده‌اند [۶]. در این مطالعه معلوم شد که ضوابط آیین‌نامه‌ای موجود در خیلی از موارد محافظه‌کارانه بوده و برای رسیدن به طرح‌های اقتصادی‌تر نیاز به اصلاح دارند و نیز مشخص گردید که مقاطع ناودانی دوبل نسبت به مقطع قوطی عملکرد بهتری دارند.

آیین‌نامه‌های موجود تمام مودهای شکست را پوشش می‌دهند. در این مقاله تمرکز اصلی روی حالت شکست مقطع خالص است. در حالت شکست مقطع خالص ابتدا باید ضریبی به نام ضریب تأخیر برشی تعیین شود. برای محاسبه این ضریب آیین‌نامه‌های موجود بر پایه مطالعات گذشته فرمول‌هایی پیشنهاد کرده‌اند، این مطالعات به طور عمومی روی اتصالات پیچی و پرچی صورت گرفته است و براساس تحلیل‌های پارامتری اخیر برای اتصالات جوشی محافظه‌کارانه هستند، از طرفی این روابط، عواملی چون اثر تقارن را در نظر نمی‌گیرند. باتوجه به این مسائل و استفاده گسترده از اتصالات کششی تسمه و مقطع قوطی، اثر عواملی چون طول اتصال، ابعاد

تحقیقات مرتبط با موضوع این مقاله آورده می‌شود. در سال ۱۹۶۳ مانس^۲ و همکاران اتصالات پرچی و پیچی را مورد مطالعه قرار داده و برای رسیدن به پارامترهای مؤثر در ضریب کاهش ظرفیت عضو آزمایش‌های زیادی را صورت دادند [۱]. اعضای مورد آزمایش شامل ورق، نبشی‌های تک، نبشی‌های دوبل با اتصال در یک طرف گاست و با اتصال با دو سوی مختلف گاست، اعضای I شکل ساخته شده و ناودانی تک و دوبل بوده است. در پایان نویسندگان روابطی را برای طراحی اعضای کششی پیشنهاد دادند که بعدها مورداستفاده سایر محققین و آیین‌نامه‌ها قرار گرفت. طی تحقیقی که در سال ۱۹۶۹ روی نبشی‌های تک صورت گرفت، ظرفیت کششی و فشاری مومسان بررسی شد [۲]. طبق نظر نویسندگان مقاله تارهای انتهایی مقطع تسلیم شده و در نتیجه خط اثر بار و در نتیجه برون محوری تغییرمکان می‌دهند. نویسندگان براساس مشاهدات خود رابطه جدیدی را برای محاسبه مقطع خالص ارائه دادند. گایلورد^۳ و همکاران در تحقیقی که در سال ۱۹۹۲ صورت دادند برای محاسبه مقطع خالص مؤثر رابطه‌ای مؤثر که تابعی از چهار ضریب است ارائه دادند که در میان این ضرایب، ضریب تأخیر برشی مانند روابط مانس و همکاران است [۳]. در مطالعه دیگری که توسط محققان صورت گرفت اثر تأخیر برشی روی اتصالات جوشی بررسی گردید، در این سری آزمایش‌ها از ۲۷ نمونه آزمایشگاهی استفاده شد، این نمونه‌ها شامل ورق‌ها، نبشی‌ها و ناودانی‌های با نورد گرم بودند که ناودانی‌ها به صورت پشت‌به‌پشت به ورق گاست متصل شده بودند [۴]. با انجام آزمایش‌ها معلوم شد که تأخیر برشی روی مقاومت ورق‌ها و نبشی‌ها مؤثر است ولی روی اتصالات ناودانی تأثیر چندانی ندارد. برای در نظر گرفتن برون محوری و نواقص اجرایی، مقدار ۰/۹ به عنوان حد بالای ضریب تأخیر برشی در نظر گرفته شده

⁴ Orbison

⁵ Humphries

⁶ Hollow Structural Section

² Munse

³ Gaylord

تأخیر برشی را بر روی اعضای کششی با اتصالات از طریق جوش گوشه روی ناودانی تک و دوبل مطالعه کردند. سپس نتایج با برآوردهای حاصل از آئین نامه AISC-LRFD مقایسه می‌شوند و معادلات جایگزین پیشنهاد می‌شوند [۲۳]. ملکی و قادری در سال ۲۰۲۰ شکست برشی قالبی در صفحات گاست جوشکاری شده تحت بارگذاری ترکیبی را بررسی کردند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که برای بارگذاری ترکیبی، صفحات شکست شیبدار امکان‌پذیر است و حالت تنش در چنین صفحاتی ترکیبی از تنش‌های کششی و برشی است که میزان آن متناسب با زاویه بارگذاری است. نتایج برای توصیف رفتار صفحات گسیختگی برش قالبی در چنین مواردی استفاده می‌شود. در نهایت، برای ارائه تخمین بهتری از مقاومت برشی قالبی در اتصالات جوشی تحت بارگذاری ترکیبی، معادله جدیدی پیشنهاد شده است [۲۴]. عابدین، محمد و همکاران اثرات تأخیر برشی را در ناودانی‌های جوش داده شده در هر دو ساق با در نظر گرفتن برون محوری اتصال، طول اتصال، ضخامت صفحه ضخامت، و طول بدون اتصال در مقاطع تک و دوبل جوش داده شده در هر دو ساق مورد مطالعه قرار داد. نتایج تجزیه و تحلیل‌های عددی نشان داد که در اتصالات با مقاطع تک، اثرات طول اتصال، برون محوری اتصال و ضخامت صفحه گاست محسوس‌تر است، در حالی که در اتصالات با مقاطع دوبل آخرین پارامتر خیلی مهم نیست [۲۵].

در این مقاله یک مطالعه پارامتری با مدل‌های اجزای محدود مدلسازی شده در نرم‌افزار آباکوس انجام شد که طیف وسیعی از پارامترها مانند طول اتصال و برون محوری از مرکز صفحه و همچنین اثر اندازه جوش روی مقاطع تسمه و قوطی با اتصال از طریق دو وجه را پوشش می‌دهد. در نهایت، با توجه به نتایج عددی، ملاحظات طراحی برای تعیین کمیت تأثیر تأخیر برشی بر مقاومت کششی اعضای کششی پیشنهاد شد.

۲- روابط آیین‌نامه برای طراحی کششی

مقطع، تقارن مقطع، طول عضو و اندازه جوش با استفاده از تحلیل پارامتری روی ضریب تأخیر برشی سنجیده می‌شود. ضریب تأخیر برشی (U) طبق فرمول زیر تعریف می‌شود.

$$U = P_u / F_u A_n \quad (1)$$

F_u = تنش نهایی فولاد، A_n = سطح مقطع خالص، P_u = کشش نهایی عضو

فنگ^۷ و همکارانش اخیراً تأثیر تأخیر برشی بر رفتار و ظرفیت کشش نهایی نبشی کششی و اتصالات جوش شده را مورد مطالعه قرار داده‌اند [۷]. با این حال، تمام کارهای تحقیقاتی که در بالا توضیح داده شد و یافته‌های تحقیقات مربوطه به اعضای کششی ساخته شده از فولادهای معمولی (NSs) با تنش تسلیم اسمی کم‌تر از ۴۶۰ MPa محدود شده است.

اخیراً، تحولات و پیشرفت‌های تکنولوژیکی در صنعت متالورژی، قابلیت دسترسی و حیات اقتصادی فولادهای با استحکام بالا (HSSs) را با حداقل تنش تسلیم مشخص برابر یا بالاتر از ۴۶۰ MPa بهبود بخشیده است [۸].

جوامع تحقیقاتی همچنین اکتشافاتی را در رفتار مواد HSS، اتصالات HSS، اجزا و ساختارهای HSS آغاز کرده‌اند [۹-۱۷]. ژانگ^۸ و همکاران تجزیه و تحلیل اثر تأخیر برشی در ناحیه لنگر منفی تیرهای کامپوزیت فولادی-بتنی تحت بار خستگی را انجام دادند. دو نمونه از تیرهای مرکب فولادی-بتنی با دو دهانه به ترتیب تحت بار خستگی و بار استاتیکی برای مقایسه تفاوت‌ها در ناحیه لنگر منفی مورد آزمایش قرار گرفتند. مشخص شد که روش‌های موجود در مشخصات می‌توانند اثر تأخیر برشی را در دال بتنی تحت بار استاتیکی بهتر تخمین بزنند، اما عرض بال موثر در ناحیه ممان منفی تحت بار خستگی دارای انحراف زیادی است [۲۲]. پژوهشگران اثر

⁷ Fang

⁸ Zhang

ضریب پواسون $(\nu = 0.5)$ و یا نزدیک به آن باشد (ضریب پواسون بیش از 0.475). از آنجا که تنش فشاری در المان نامشخص است، بجز در مسائل تنش صفحه‌ای نمی‌توان از المان‌های معمولی برای بررسی رفتار مواد تراکم‌ناپذیر کمک گرفت و با روش انتگرال‌گیری کاهش‌یافته استفاده شده است. تحلیل به روش General static انجام می‌شود، اثرات غیرخطی هندسی و رفتار غیرخطی مربوط به مصالح نیز در محاسبات لحاظ شده است. برای شبیه‌سازی بارگذاری تحت کنترل جابه‌جایی به انتهای گاست، بار از نوع تغییرمکان به انتهای مقطع عضو اعمال می‌گردد، این جابه‌جایی به صورت خطی و تدریجی (با شیب 45 درجه) تا حصول به تغییرمکان هدف به انتهای عضو وارد می‌شود. با توجه به اینکه هدف این مطالعه تنها بررسی ظرفیت گسیختگی عضو کششی است فرض می‌شود که شکست فقط در عضو اصلی رخ داده است و جوش و ورق گاست سالم باقی می‌مانند، با این فرض جابه‌جایی ایجاد شده در جوش و گاست نسبت به جابه‌جایی‌های ایجاد شده در عضو بسیار کمتر خواهد بود، از این رو جوش را می‌توان به صورت کشسان (به صورت یک المان Solid با مقطع مثلثی و مدول الاستیسیته بالاتر از فلز مادر که یک ساق آن به ورق گاست و ساق دیگر آن به عضو کششی از طریق قید Tie که درجات آزادی دو صفحه از دو عضو را به یکدیگر مقید می‌کند) مدل کرد. رفتار عضو به صورت کشسان-مومسان با سخت‌شدگی ایزوتروپیک مدل می‌شود برای مدل‌سازی شکست از روش Ductile Damage ارائه شده در آباکوس استفاده شده است. در این مدل شکست، به دو ورودی نیاز داریم یکی رابطه سه محوریت تنش با کرنش بحرانی در شروع شکست و دیگری جابه‌جایی نهایی (u_f) که در ادامه به توضیح هرکدام پرداخته می‌شود. براساس مطالعه جوونگ^{۱۲} رابطه کرنش بحرانی و سه محوریت تنش به صورت روابط (۵) تا (۷) فرض می‌شود [۲۰].

در آیین‌نامه AISC360-LRFD-05 [۱۸] سه مورد ارائه شده است:

الف-مورد تسلیم کلی مقطع^۹:

$$\phi T_n = 0.9 A_g F_y \quad (2)$$

ب-مورد شکست مقطع خالص^{۱۰}:

$$\phi T_n = 0.75 A_e F_u, A_e = U A_n, U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} \quad (3)$$

ج-مورد شکست برشی و برش قالبی^{۱۱}:

$$\phi T_n = \min \{ 0.6 F_y A_g, 0.75 * 0.6 F_u A_{nv} \} \\ \phi T_n = 0.75 U_{bs} F_u A_{nt} + 0.75 \min \{ (0.6 F_y A_{gv}, 0.6 F_u A_{nv}) \} \quad (4)$$

مطابق شکل ۱ در این روابط داریم:

A_n : سطح مقطع خالص A_g : سطح مقطع کلی A_{nt} : سطح مقطع خالص کششی A_{nv} : سطح خالص برشی \bar{x} : فاصله مرکز سطح مقطع تا ورق گاست A_{gv} : سطح برشی کلی، A_{nt} : سطح کششی خالص L : طول اتصال، W : محیط مقطع، $T_n =$ بار کششی نهایی، $F_y =$ تنش تسلیم فولاد، U_{bs} : ضریب تأخیر برشی، F_u : تنش نهایی فولاد.

۳- مدل‌سازی به روش اجزای محدود

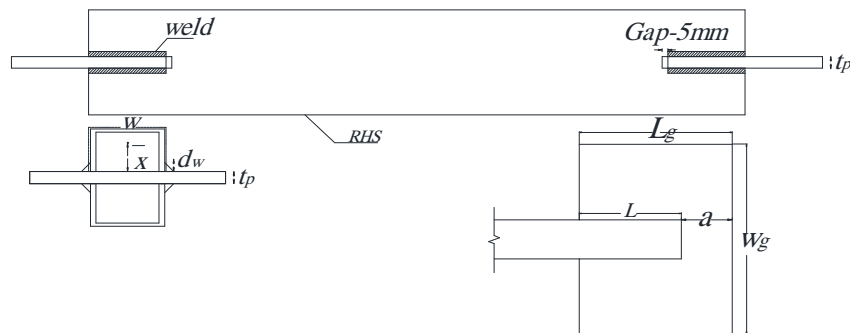
مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Abaqus 6.18 انجام می‌گیرد. با توجه به شکل‌پذیری زیاد مصالح و با فرض ثابت گرفتن حجم مصالح در تغییرشکل‌های زیاد در ساخت مدل از المان سه‌بعدی C3D8RH هشت گره‌ای با فرمولاسیون هیبریدی (براساس روابط ریاضی در این دسته از المان‌ها، فشار (در المان‌های Continuum) و نیروی محوری (برای المان‌های Beam و Truss) به‌عنوان یک مجهول اضافه در نظر گرفته می‌شود. این المان‌ها زمانی بکار گرفته می‌شوند که رفتار ماده تراکم‌ناپذیر

⁹ Gross section

¹⁰ Net section fracture

¹¹ Shear rupture

فولادهای ساختمانی حدود ۰/۸ است. در رابطه (۶)، A_R درصد کاهش مساحت در ناحیه شکست است. در این حالت فرض شده است که شکست در اثر رشد، گسترش و به هم پیوستن حفره‌ها در ماده ایجاد می‌شود، کرنش در شروع فرایند خرابی به‌عنوان تابعی از وضعیت سه محوری تنش در نظر گرفته می‌شود. همچنین باتوجه به اهمیت شکست مقطع خالص در این پروژه و باتوجه به تمرکز تنش در ناحیه اتصال مش این قسمت از عضو تا فاصله ۱۰ سانتیمتری از لبه ورق گاست نسبت به بقیه مدل ریزتر انتخاب می‌شود تا نتایج تحلیل قابل اطمینان‌تر شود.



شکل ۱- پارامترهای طراحی کششی

برای رسیدن به تنش‌های واقعی از این روابط تنها تا مرحله لاغرشدگی^{۱۳} می‌توان استفاده کرد، زیرا پس از آن تنش و کرنش در یک نقطه تمرکز می‌یابد.

$$\sigma = K \varepsilon^m \quad (10)$$

باتوجه به نمودار مقدار m برابر ۰/۱۹۵ و K برابر ۸۴۱/۳۴ مگاپاسکال به دست می‌آید. با به‌دست آمدن موارد بالا رابطه تنش-کرنش واقعی به‌صورت شکل ۲ خواهد بود. براساس نمودار شکل ۲، مقادیر تنش تسلیم و نهایی برابر هستند با: $F_u=506 \text{ MPa}$ و $F_y=360 \text{ MPa}$.

۴- راستی آزمایی

$$\varepsilon_D^{-p} = \begin{cases} \infty & \eta \leq -1/3 \\ \frac{C_1}{1+3\eta} & -\frac{1}{3} \leq \eta \leq 0 \\ C_1 + (C_2 - C_1)(\eta / \eta_0)^2 & 0 \leq \eta \leq \eta_0 \\ \frac{C_2 \eta_0}{\eta} & \eta \geq \eta_0 \end{cases} \quad (5)$$

$$C_2 = -\ln(1 - A_R) \quad (6)$$

$$C_1 = C_2 \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^{1/m} \quad (7)$$

در رابطه (۵)، η ضریب سه محوری تنش است، مقدار C_2 با رابطه (۶) از آزمایش نمونه استاندارد کششی مصالح مورد نظر به‌دست می‌آید که مقدار معمول آن برای

برای راستی آزمایی نتایج از مطالعات آزمایشگاهی مرجع [۱۹] استفاده شده است. در این آزمایش‌ها ظرفیت کششی ناودانی‌های دابل با اتصال پشت‌به‌پشت بررسی شده است، در این مقاله از خواص مصالح این آزمایش‌ها استفاده شده است. برای مدل‌سازی در ABAQUS باید از تنش و کرنش واقعی استفاده شود، برای تبدیل تنش‌های مهندسی به واقعی از معادلات زیر استفاده گردیده است:

$$\bar{\sigma} = \sigma(1 + \varepsilon) \quad (8)$$

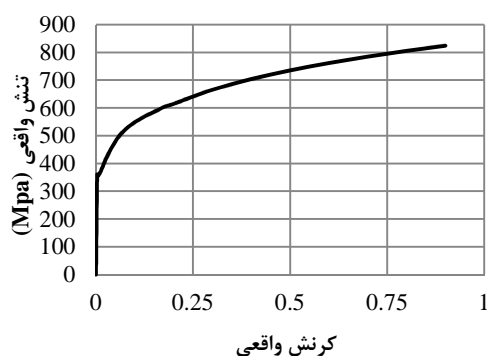
$$\bar{\varepsilon} = \ln(1 + \varepsilon) - \sigma / E \quad (9)$$

E : مدول الاستیسیته، $\bar{\sigma}$: تنش مهندسی، ε : کرنش مهندسی، $\bar{\varepsilon}$: تنش واقعی، $\bar{\varepsilon}$: کرنش واقعی.

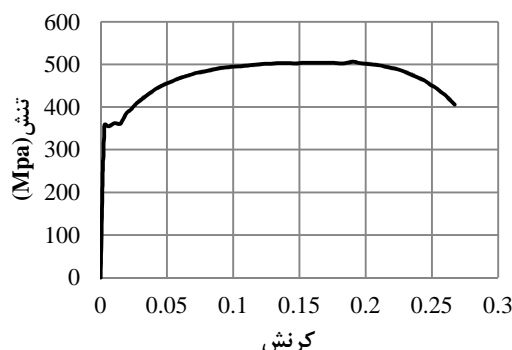
¹³ Necking

آزمایشگاهی مرجع [۱۹] ساخته شده و نتایج تحلیل با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده‌اند. در نمودارهای شکل ۳ این مقایسه در مورد یکی از نمونه‌ها دیده می‌شود.

برای اطمینان از درستی فرضیات مدل‌سازی مدل اتصال کششی با مقطع ناودانی دوبل پشت‌به‌پشت و یک اتصال کششی با مقطع ناودانی تک، طبق نمونه

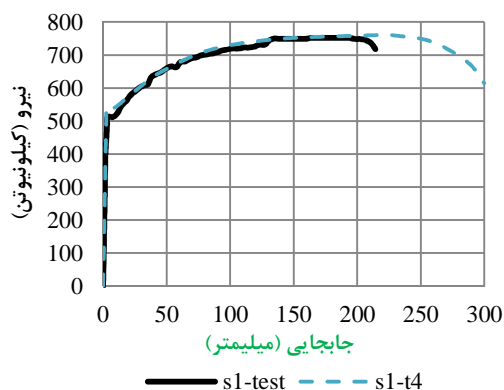


(ب)

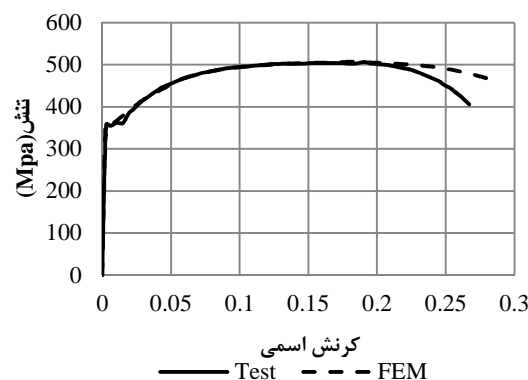


(الف)

شکل ۲- رابطه تنش- کرنش (الف) مهندسی و (ب) واقعی



(ب)



(الف)

شکل ۳- مقایسه (الف) رابطه تنش- کرنش و (ب) رفتار کششی نمونه آزمایشگاهی با تحلیل عددی

باریک‌شدگی و کرنش‌های بالا در وسط عضو قابل تشخیص است. به دلیل اینکه در ناحیه وسیعی شکست رخ می‌دهد تحلیل به دلیل مشکلات عددی تا شکست کامل پیش نرفته و بسیار کند می‌شود و معمولاً تا باریک‌شدگی پیش نمی‌رود. از این‌رو، در صورت نزدیک بودن مقدار بار کششی موجود در عضو با حداکثر مقدار قابل تحمل و مشاهده کرنش‌های مومسان حدود ۰/۲ می‌توان فهمید که شکست در مقطع کلی روی داده است (شکل ۴-ب).

۴-۳- شکست برشی

۴-۱- شکست مقطع خالص

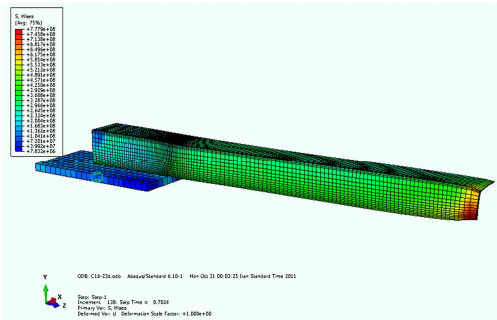
در این مود شکست از شروع جوش در مقطع شروع شده و در امتداد محیطی در مقطع گسترش می‌یابد در این ناحیه ابتدا تمرکز تنش و کرنش زیادی مشاهده می‌شود با افزایش تغییرشکل‌ها کرنش مومسان معادل به حدود ۰/۹ رسیده و تنش‌ها کاهش می‌یابند (شکل ۴-الف).

۴-۲- شکست مقطع کلی

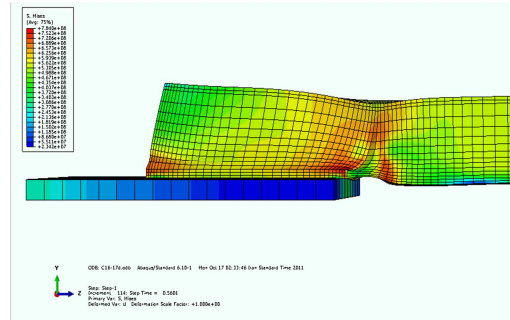
در این مود، شکست دور از اتصال و در کل مقطع عضو کششی رخ می‌دهد. این حالت با مشاهده

می‌دهد با مشاهده کاهش تنش در ابتدای جوش تحلیل متوقف می‌شود.

این مود شکست با مشاهده تمرکز تنش و کرنش در امتداد طولی جوش قابل تشخیص است، در ابتدای بارگذاری تمرکز تنش و کرنش در ابتدا و انتهای جوش رخ



(ب)



(الف)

شکل ۴- شکست مقطع (الف)خالص و (ب) کلی در مدل عددی

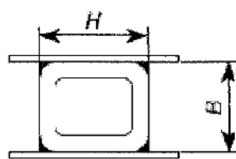
در تمام موارد به جز موارد ذکر شده در جدولها طول آزاد عضو (فاصله آزاد بین دو گاست) برابر ۱۲۰ سانتیمتر، طول آزاد گاست (a) برابر ۱۰ سانتیمتر، بعد جوش (d_w) برابر ۸ میلیمتر، ضخامت گاست (t) برابر ۱۵ میلیمتر و عرض گاست (W_g) ۳۰ سانتیمتر است. طول اتصال (L) در جداول آورده شده است. در تمام مدلها در انتهای شیار اتصال گاست ۵ میلیمتر فضای خالی وجود دارد. سایر پارامترها مانند محیط (w) مقطع در شکل نشان داده شده‌اند. فولاد مورد استفاده نیز دارای F_y برابر ۳۶۰ و F_u برابر ۵۰۶ مگاپاسکال است.

۵- تحلیل پارامتری و بررسی نتایج

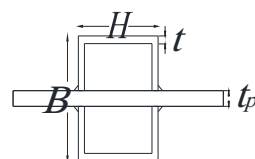
جزئیات مدل‌های ساخته شده برای تحلیل قوطی در جدول ۱ و شکل ۵ و نتایج در جداول ۲ تا ۵ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات مقاطع

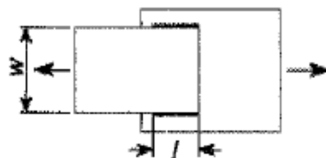
| Section | B(mm) | H(mm) | t (mm) |
|---------|-------|-------|--------|
| HSS1 | 149 | 120 | 7 |
| HSS2 | 189 | 160 | 7 |
| HSS3 | 109 | 80 | 7 |
| HSS4 | 189 | 120 | 7 |



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۵- جزئیات مقطع (الف) اتصال چاقویی (ب) اتصال از طریق دو بال و (ج) مقطع تسمه

جدول ۲- جزئیات مدل‌های بررسی پارامترهای طول جوش و برون محوری نیرو.

| Model | Section | L(cm) | مود شکست FEM | مود شکست AISC | P_{uFEM} (KN) | P_{uAISC} (KN) |
|---------|---------|-------|--------------|---------------|-----------------|------------------|
| HSS1-12 | HSS1 | 12 | SR | SY | 1322.3 | 725.76 |
| HSS1-15 | HSS1 | 15 | SR | NF | 1566 | 1170.8 |

جدول ۲- ادامه

| Model | Section | L(cm) | مود شکست FEM | مود شکست AISC | P_{uFEM} (KN) | P_{uAISC} (KN) |
|---------|---------|-------|-----------------|------------------|--------------------|---------------------|
| HSS1-17 | HSS1 | 17 | NF | NF | 1661.6 | 1233 |
| HSS1-20 | HSS1 | 20 | NF | NF | 1708.4 | 1303 |
| HSS1-23 | HSS1 | 23 | NF | NF | 1747.8 | 1355 |
| HSS1-25 | HSS1 | 25 | NF | NF | 1752 | 1382.6 |
| HSS1-27 | HSS1 | 27 | NF | NF | 1756.5 | 1406 |
| HSS2-12 | HSS2 | 12 | SR | SY | 1289 | 725 |
| HSS2-15 | HSS2 | 15 | SR | SY | 1529 | 907 |
| HSS2-17 | HSS2 | 17 | SR | SY | 1678 | 1028 |
| HSS2-20 | HSS2 | 20 | NF | NF | 1957 | 1564 |
| HSS2-23 | HSS2 | 23 | NF | NF | 2104 | 1656 |
| HSS2-27 | HSS2 | 27 | NF | NF | 2169 | 1746 |
| HSS3-12 | HSS3 | 12 | NF | NF | 1322.3 | 833 |
| HSS3-15 | HSS3 | 15 | NF | NF | 1566 | 893 |
| HSS3-17 | HSS3 | 17 | NF | NF | 1661.6 | 921 |
| HSS3-20 | HSS3 | 20 | NF | NF | 1708 | 953 |
| HSS3-23 | HSS3 | 23 | NF | Y | 1747 | 976 |
| HSS3-25 | HSS3 | 25 | NF | Y | 1751 | 989 |
| HSS3-27 | HSS3 | 27 | NF | Y | 1756 | 1000 |
| HSS4-15 | HSS4 | 15 | SR | NF | 1478 | 1208 |
| HSS4-17 | HSS4 | 17 | SR | NF | 1753 | 1299 |
| HSS4-23 | HSS4 | 23 | NF | NF | 1864 | 1478 |
| HSS4-25 | HSS4 | 25 | NF | NF | 1938 | 1518 |

GF:Gross section Fracture (شکست مقطع کلی)
 NF: Net section Fracture (شکست مقطع خالص)
 SR:Shear Rupture (گسیختگی برشی)

جدول ۳- جزئیات مدل‌های بررسی طول آزاد عضو با مقطع HHS

| Model | Section | L(cm) | Free length(cm) | FEM failure mode | AISC failure mode | P_{uFEM} (KN) | P_{uAISC} (KN) |
|-----------|---------|-------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| HSS1-15-S | HSS1 | 15 | 80 | SR | NF | 1600 | 1170.8 |
| HSS1-15-M | HSS1 | 15 | 120 | SR | NF | 1589 | 1170.8 |
| HSS1-15-L | HSS1 | 15 | 220 | SR | NF | 1628 | 1170.8 |
| HSS3-17-S | HSS3 | 17 | 80 | NF | NF | 1660 | 921 |
| HSS3-17-M | HSS3 | 17 | 120 | NF | NF | 1661 | 921 |
| HSS3-17-L | HSS3 | 17 | 220 | NF | NF | 1660 | 921 |

جدول ۴- جزئیات مدل‌های بررسی پارامتر اندازه جوش

| Model | Section | L(cm) | d_w (cm) | FEM failure mode | AISC failure mode | P_{uFEM} (KN) | P_{uAISC} (KN) |
|-------------|---------|-------|------------|------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| HSS2-15-w6 | HSS2 | 15 | 0.6 | SR | SY | 1507 | 907 |
| HSS2-15-w8 | HSS2 | 15 | 0.8 | SR | SY | 1529 | 907 |
| HSS2-15-w10 | HSS2 | 15 | 1.0 | SR | SY | 1571 | 907 |
| HSS1-17-w6 | HSS1 | 17 | 0.6 | NF | NF | 1620 | 1233 |
| HSS1-17-w8 | HSS1 | 17 | 0.8 | NF | NF | 1619 | 1233 |
| HSS1-17-w10 | HSS1 | 17 | 1.0 | NF | NF | 1625 | 1233 |

جدول ۵- جزئیات مدل‌های بررسی پارامترهای طول اتصال و برون محوری نیرو

| Model | Section | L(cm) | U_{code} | U_{FEM} | U_{code}/U_{FEM} |
|---------|---------|-------|------------|-----------|--------------------|
| HSS1-12 | HSS1 | 12 | 0.83 | 0.858341 | 1.03657 |
| HSS1-15 | HSS1 | 15 | 0.86 | 0.888 | 1.029955 |
| HSS1-17 | HSS1 | 17 | 0.88 | 0.899846 | 1.024147 |

جدول ۵- ادامه

| Model | Section | L(cm) | U_{code} | U_{FEM} | U_{code}/U_{FEM} |
|---------|---------|-------|------------|-----------|--------------------|
| HSS1-20 | HSS1 | 20 | 0.90 | 0.921418 | 1.02741 |
| HSS1-23 | HSS1 | 23 | 0.91 | 0.947 | 1.039893 |
| HSS1-25 | HSS1 | 25 | 0.92 | 0.942205 | 1.026962 |
| HSS1-27 | HSS1 | 27 | 0.92 | 0.951 | 1.029674 |
| HSS2-12 | HSS2 | 12 | 0.79 | 0.791987 | 1.006636 |
| HSS2-15 | HSS2 | 15 | 0.83 | 0.838 | 1.010765 |
| HSS2-17 | HSS2 | 17 | 0.85 | 0.862 | 1.014158 |
| HSS2-20 | HSS2 | 20 | 0.87 | 0.882297 | 1.01174 |
| HSS2-23 | HSS2 | 23 | 0.89 | 0.914223 | 1.028665 |
| HSS2-27 | HSS2 | 27 | 0.91 | 0.956 | 1.055853 |
| HSS3-12 | HSS3 | 12 | 0.87 | 0.879 | 1.01158 |
| HSS3-15 | HSS3 | 15 | 0.90 | 0.921 | 1.029254 |
| HSS3-17 | HSS3 | 17 | 0.91 | 0.942 | 1.037748 |
| HSS3-20 | HSS3 | 20 | 0.92 | 0.956 | 1.03774 |
| HSS3-23 | HSS3 | 23 | 0.93 | 0.960 | 1.029971 |
| HSS3-25 | HSS3 | 25 | 0.94 | 0.957 | 1.020779 |
| HSS3-27 | HSS3 | 27 | 0.94 | 0.961 | 1.020413 |
| HSS4-15 | HSS4 | 15 | 0.81 | 0.816 | 1.010684 |
| HSS4-17 | HSS4 | 17 | 0.83 | 0.838 | 1.010053 |
| HSS4-23 | HSS4 | 23 | 0.87 | 0.891 | 1.019127 |
| HSS4-25 | HSS4 | 25 | 0.88 | 0.906 | 1.024699 |

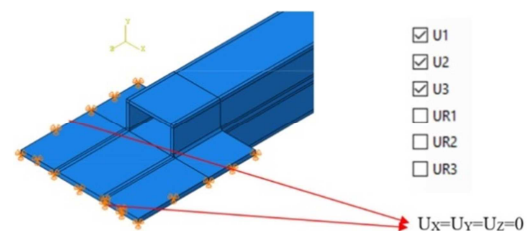
باتوجه به تقارن مقطع به نظر نمی‌رسد که طول آزاد عضو، تأثیری روی ظرفیت کششی داشته باشد برای اطمینان از این موضوع شش نمونه با طول‌های گوناگون بررسی شده است. بدیهی است که به دلیل وجود تقارن در مقطع و در نتیجه عدم خمش گاست، طول آزاد گاست (a) و ضخامت آن روی مقاومت کششی نهایی عضو مؤثر نمی‌باشند (شکل ۸).

۲-۶- جمع‌بندی نتایج تحلیل‌ها و ارائه رابطه جدید برای U برای مقطع قوطی با اتصال جوشی چاقویی

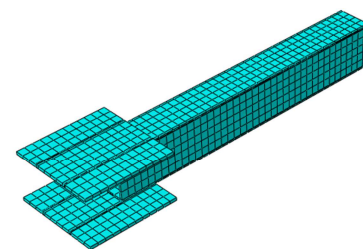
در نمودار شکل ۹ بازده اتصال در برابر نسبت برون محوری به طول اتصال رسم شده است و با رابطه آیین‌نامه AISC مقایسه شده است. باتوجه به شکل دیده می‌شود که AISC، ۲۰ درصد محافظه‌کارانه‌تر بوده، لذا برای اقتصادی‌تر کردن طراحی معادلات (۱۱) و (۱۲) جهت محاسبه ضریب تأخیر برشی پیشنهاد می‌شوند:

$$\begin{cases} \bar{X} = \frac{B^3}{4(B+H)} \\ U = 1 - \frac{X'}{L} \end{cases} \quad (11)$$

شرایط مرزی در شکل ۶ و مش‌بندی در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۶- مدل اجزای محدود قوطی با اتصال چاقویی و نحوه اعمال شرایط مرزی

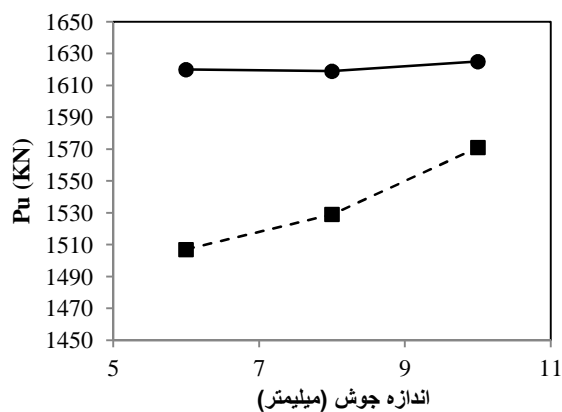


شکل ۷- مش‌بندی مدل اجزای محدود قوطی با اتصال از طریق دو جوش موازی در بال

۶- بررسی طول آزاد عضو و اثر اندازه جوش

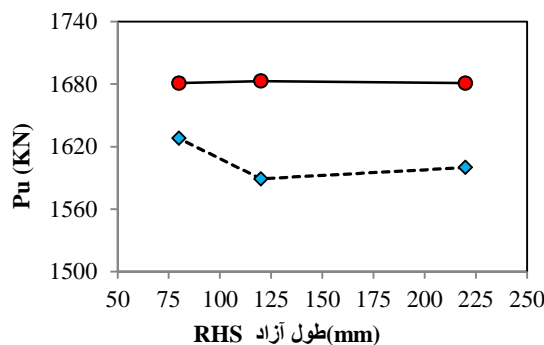
۶-۱- طول آزاد و بعد جوش

که در آن H و B ابعاد مقطع قوطی می باشند.



---■--- HSS2-15 ●--- HSS1-17

(ب)



---◆--- HSS1-15 ●--- HSS3-17

(الف)

شکل ۸- تأثیر (الف) طول آزاد عضو و (ب) اندازه جوش بر مقاومت کششی مقطع قوطی

گاست و مقطع قوطی پیشنهاد گردیده است. هرچند در این خصوص به تعداد آنالیزهای بسیار بیشتری نیاز هست اما مطابق نتایج این مقاله، روابط با ضرایب بهبودیافته‌ای نسبت به روابط ارائه شده در آئین نامه (هرچند خود آئین نامه اذعان دارد که ضرایب آمده در روابطشان یقیناً بهینه نیست) ارائه شده است. در رابطه (۱۲) برای محاسبه x' از رابطه (۱۳) استفاده شده است. قوطی مستطیلی به صورت دو ناودانی جداگانه و با فرض کم شدن ضخامت گاست در نظر گرفته می‌شود، این در حالی است که رابطه پیشنهادی آیین‌نامه AISC-LRFD ضخامت گاست و قوطی را در نظر نمی‌گیرد و این موجب محافظه‌کارانه تر شدن محاسبات می‌شود، برای رفع این مشکل رابطه زیر جهت محاسبه x' پیشنهاد می‌گردد.

$$x' = \frac{b^2 + 2b\hat{h}}{4(b + \hat{h})}, \quad \hat{b} = b - 2t \quad (13)$$

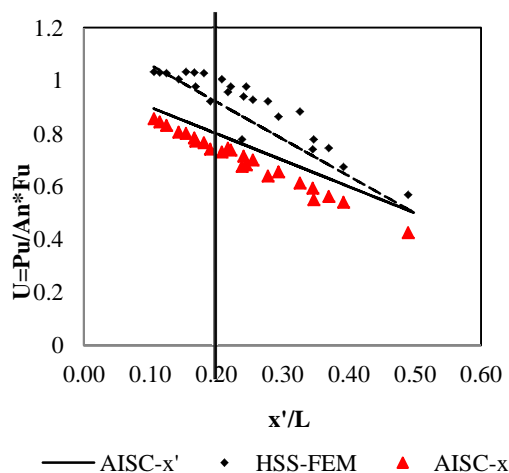
$$\hat{h} = h - t_p$$

در این رابطه، t ضخامت مقطع و t_p ضخامت گاست می‌باشد.

۳-۶- جمع‌بندی نتایج تحلیل‌ها و ارائه رابطه بهبود یافته برای U برای مقطع قوطی با اتصال جوش از طریق دو بال

$$\begin{cases} U = 1, & \frac{x'}{L} < 0.2 \\ U = 1.2 - \frac{1.4x'}{L} \end{cases} \quad (12)$$

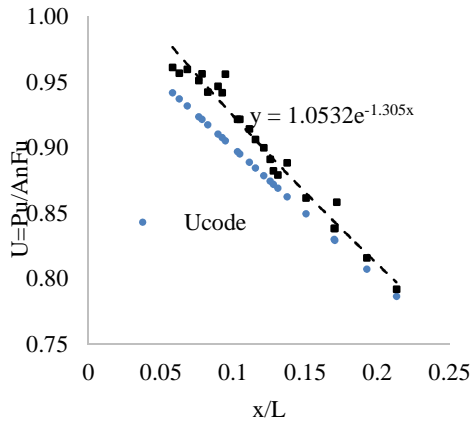
لازم به ذکر است رابطه (۱۱) اصولاً تنها برای مقاطع HSS داده نشده است و مطابق مطالب گفته شده در کتاب طراحی سازه‌های فولادی دکتر ازهری و دکتر میرقادری صرفاً پیشنهاد شده است [۲۶].



شکل ۹- مقایسه نتایج تحلیل با پیش‌بینی AISC و رابطه پیشنهادی برای مقطع قوطی با اتصال چاقویی.

رابطه مذکور در این کتاب برای مقاطع قوطی با اتصال به کمک دو ورق بدون در نظر گرفتن ضخامت

نسبت به آیین‌نامه داشته و دلیل آن هم می‌تواند اتصال از طریق دو ورق باشد که در دو طرف مقطع مستطیلی از طریق جوش قرار می‌گیرد و باعث انتقال متقارن‌تر تنش‌ها می‌گردد؛ لذا اختلاف آن نسبتاً کمتر بوده ولی همچنان روابط آیین‌نامه محافظه‌کارانه‌تر هستند.

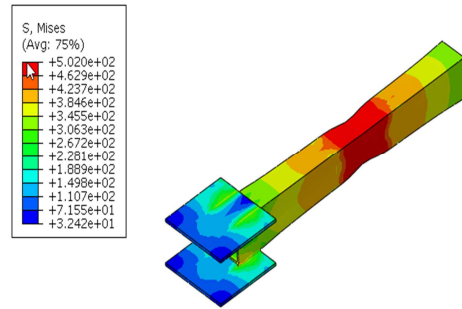


شکل ۱۱- مقایسه تحلیل مقطع قوطی با جوش از طریق دو ورق با پیش‌بینی AISC و رابطه پیشنهادی

۴-۶- جمع بندی نتایج تحلیل‌ها و ارائه رابطه‌ای با ضرایب بهبود یافته برای U در مقطع تسمه

در ادامه تعدادی مقطع تسمه با طول‌های مختلف اتصال بدون جوش برگشتی از طریق دو جوش موازی در دو سمت مخالف و روبروی هم مدل‌سازی شده و ظرفیت عضو با استفاده از سطح مقطع خالص آنها به‌دست آمده است که در این مورد نیز روابط جایگزینی ارائه شده است. جزئیات مدل‌های ساخته شده برای تحلیل تسمه کششی با جوش موازی طولی در جدول ۶ آورده شده است.

در ادامه تحقیق، تعدادی مقطع قوطی مستطیلی با طول‌های مختلف اتصال و برون محوری‌های مختلف و با اتصال اصطلاحاً چاقویی بدون جوش برگشتی از طریق دو ورق در دو سمت مخالف و روبروی هم مدل‌سازی شده (شکل ۱۰) و ظرفیت عضو با استفاده از سطح مقطع خالص آنها به‌دست آمده است که در این مورد نیز رابطه‌ای با ضرایب بهبود یافته ارائه شده است.



شکل ۱۰- توزیع تنش تغییرشکل یافته مقطع قوطی با دو جوش موازی در نرم‌افزار اجزای محدود در انتهای بارگذاری (نیوتن بر میلی‌مترمربع)

با توجه به شکل ۱۱ دیده می‌شود که نمودار آیین‌نامه ۱/۵ درصد محافظه‌کارانه بوده (که به دلیل اختلاف کم رابطه آیین‌نامه در این مورد نیاز به اصلاح ندارد)، برای اقتصادی‌تر کردن طراحی، معادلات (۱۴) جهت محاسبه ضریب تأخیر برشی پیشنهاد می‌شوند:

$$U = 1.0408 - \frac{1.1573x}{L} \quad (14)$$

Or

$$U = 1.0532e^{-1.305x}$$

در رابطه ارائه شده در مقایسه با مقاطع قوطی مستطیلی که اتصال آنها تنها به کمک یک ورق هم محور انجام می‌گیرد، مقادیر ضریب تأخیر برشی اختلاف کمتری

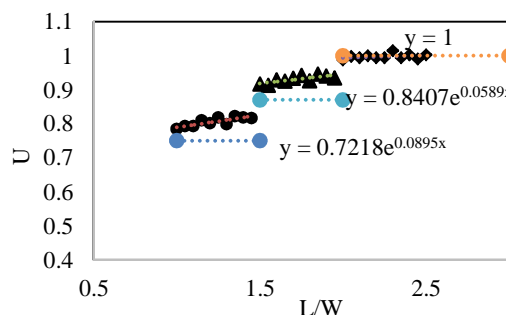
جدول ۶- جزئیات مدل‌های بررسی پارامترهای طول اتصال در مقطع تسمه

| Model | Section | L(cm) | W(cm) | L/W | U _{CODE} | U _{FEM} | U _{code/ U_{FEM}} |
|------------|---------|-------|-------|------|-------------------|------------------|------------------------------------|
| P20X2-1 | 20X2 | 20 | 20 | 1 | 0.75 | 0.784571 | 1.046095 |
| P20X2-1.05 | 20X2 | 21 | 20 | 1.05 | 0.75 | 0.792977 | 1.057303 |
| P20X2-1 | 20X2 | 22 | 20 | 1.1 | 0.75 | 0.793174 | 1.057565 |
| P20X2-1.15 | 20X2 | 23 | 20 | 1.15 | 0.75 | 0.809628 | 1.079504 |
| P20X2-1.2 | 20X2 | 24 | 20 | 1.2 | 0.75 | 0.801562 | 1.068749 |
| P20X2-1.25 | 20X2 | 25 | 20 | 1.25 | 0.75 | 0.818016 | 1.090688 |
| P20X2-1.3 | 20X2 | 26 | 20 | 1.3 | 0.75 | 0.798124 | 1.064165 |
| P20X2-1.35 | 20X2 | 27 | 20 | 1.35 | 0.75 | 0.822309 | 1.096412 |

جدول ۶- ادامه

| Model | Section | L(cm) | W(cm) | L/W | U _{CODE} | U _{FEM} | U _{code/ U_{FEM}} |
|------------|---------|-------|-------|------|-------------------|------------------|------------------------------------|
| P20X2-1.4 | 20X2 | 28 | 20 | 1.4 | 0.75 | 0.818285 | 1.091047 |
| P20X2-1.45 | 20X2 | 29 | 20 | 1.45 | 0.75 | 0.816655 | 1.088873 |
| P20X2-1.5 | 20X2 | 30 | 20 | 1.5 | 0.87 | 0.916792 | 1.053784 |
| P20X2-1.55 | 20X2 | 31 | 20 | 1.55 | 0.87 | 0.912822 | 1.049221 |
| P20X2-1.6 | 20X2 | 32 | 20 | 1.6 | 0.87 | 0.929347 | 1.068215 |
| P20X2-1.65 | 20X2 | 33 | 20 | 1.65 | 0.87 | 0.925395 | 1.063672 |
| P20X2-1.7 | 20X2 | 34 | 20 | 1.7 | 0.87 | 0.933694 | 1.073211 |
| P20X2-1.75 | 20X2 | 35 | 20 | 1.75 | 0.87 | 0.941992 | 1.082749 |
| P20X2-1.8 | 20X2 | 36 | 20 | 1.8 | 0.87 | 0.926195 | 1.064592 |
| P20X2-1.85 | 20X2 | 37 | 20 | 1.85 | 0.87 | 0.946303 | 1.087705 |
| P20X2-1.9 | 20X2 | 38 | 20 | 1.9 | 0.87 | 0.940542 | 1.081083 |
| P20X2-1.95 | 20X2 | 39 | 20 | 1.95 | 0.87 | 0.934799 | 1.074482 |
| P20X2-2 | 20X2 | 40 | 20 | 2 | 1 | 0.987566 | 0.987566 |
| P20X2-2.05 | 20X2 | 41 | 20 | 2.05 | 1 | 0.997674 | 0.997674 |
| P20X2-2.1 | 20X2 | 42 | 20 | 2.1 | 1 | 0.993704 | 0.993704 |
| P20X2-2.15 | 20X2 | 43 | 20 | 2.15 | 1 | 1 | 1 |
| P20X2-2.2 | 20X2 | 44 | 20 | 2.2 | 1 | 0.993946 | 0.993946 |
| P20X2-2.25 | 20X2 | 45 | 20 | 2.25 | 1 | 0.994072 | 0.994072 |
| P20X2-2.3 | 20X2 | 46 | 20 | 2.3 | 1 | 1.01461 | 1.01461 |
| P20X2-2.35 | 20X2 | 47 | 20 | 2.35 | 1 | 0.994288 | 0.994288 |
| P20X2-2.4 | 20X2 | 48 | 20 | 2.4 | 1 | 1.00255 | 1.00255 |
| P20X2-2.45 | 20X2 | 49 | 20 | 2.45 | 1 | 0.990318 | 0.990318 |
| P20X2-2.5 | 20X2 | 50 | 20 | 2.5 | 1 | 1.00269 | 1.00269 |

$$\begin{cases} U = 1, & \frac{L}{w} \geq 2 \\ U = 0.8407e^{0.0589\frac{L}{w}} & 1.5 < \frac{L}{w} < 2 \\ U = 0.7218e^{0.0895\frac{L}{w}} & 1 < \frac{L}{w} < 1.5 \end{cases} \quad (15)$$



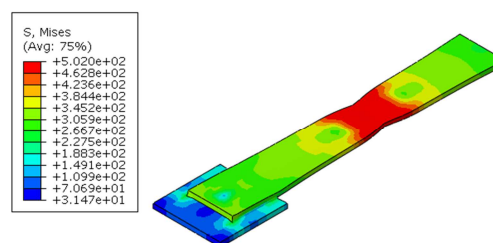
شکل ۱۳- مقایسه نتایج تحلیل مقطع تسمه با جوش موازی با پیش‌بینی AISC و رابطه پیشنهادی

۷- نتیجه‌گیری

در این بررسی یک مجموعه مقاطع قوطی با اتصال از طریق دو بال و مقاطع تسمه کششی به روش اجزای محدود با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS بررسی و

تغییرشکل یافته نمونه در شکل ۱۲ نشان داده شده

است.



شکل ۱۲- توزیع تنش تغییرشکل یافته مقطع تسمه با دو جوش موازی و نسبت $L/w=1$ در نرم‌افزار اجزای محدود در انتهای بارگذاری (نیوتن بر میلی‌مترمربع)

همچنین باتوجه به **Error! Reference**

source not found. ۱۳ دیده می‌شود که روابط آیین

نامه AISC برای نسبت های L/W کمتر ۲، محافظه‌کارانه بوده، لذا برای اقتصادی‌تر کردن طراحی معادلات زیر جهت محاسبه ضریب تأخیر برشی پیشنهاد می‌شوند:

مقاطع تسمه با نسبت $2 < \frac{L}{W}$ می توان از روابط جایگزین استفاده نمود.

بدیهی است که به دلیل وجود تقارن در مقطع قوطی و در نتیجه عدم خمش گاست، طول آزاد گاست (a) و ضخامت آن روی مقاومت کششی نهایی عضو مؤثر نمی‌باشند.

در خصوص مقاطع تسمه با طول‌های مختلف اتصال بدون جوش برگشتی و اتصال از طریق دو جوش موازی در دو سمت مخالف و روبروی هم، ظرفیت عضو با استفاده از سطح مقطع خالص آنها به‌دست آمده است که در این مورد نیز روابط بهبود یافته‌ای، ارائه شده است. مشخص شد که روابط آئین نامه AISC برای نسبت های L/W کمتر از ۲، محافظه‌کارانه بوده، لذا برای اقتصادی‌تر کردن طراحی روابط بهینه شده برای محاسبه ضریب تأخیر برشی پیشنهاد گردید.

مدل‌سازی شده و ظرفیت عضو با استفاده از سطح مقطع خالص آنها به‌دست آمده است. با توجه به نتایج بدست آمده، روابط آئین‌نامه در مواردی نسبتاً محافظه‌کارانه است و برای این منظور، روابط با ضرایب بهینه‌شده براساس مطالعه انجام شده در این تحقیق ارائه شده است. پارامترهای مورد استفاده شامل طول اتصال، برون محوری نیروی محوری و اندازه جوش هستند.

با انجام این مطالعه پارامتری به این نتیجه می‌رسیم فرمول آئین‌نامه AISC برای محاسبه ضریب تأخیر برشی در مورد مقطع قوطی با اتصال از طریق دو بال قابل قبول بوده اما برای مقطع قوطی با اتصال چاقویی تا حدی محافظه‌کارانه است و به همین جهت برای اقتصادی‌تر شدن طراحی اعضای کششی روابط بهبود یافته‌ای، پیشنهاد شده است. لذا در خصوص مقاطع قوطی با اتصال از طریق دو بال می‌توان از همان روابط آئین نامه استفاده نمود اما برای مقاطع قوطی با اتصال جوشی چاقویی و

مراجع

- [1] Munse W.H. & Chesson J.R., (1963). "Riveted and Bolted Joints: Net Section Design," *ASCE Journal of Structural Engineering*, 89.
- [2] Marsh, (1969). "Single Angles in Tension and Compression," *Journal of Structural Division*, ASCE, 95.
- [3] Gaylord E.H.Jr, Gaylord C.N., and Stallmeyer J.E., Design of Steel Structures, 3rd ed. New York: McGraw Hill, 1992.
- [4] Easterling W.S. & Gonzales L., (1993). "Shear Lag Effects in Steel Tension Members," *AISC Journal of Engineering*, 30(2), pp. 77-89.
- [5] Orbison J.G., Wagner M.E., & Fritz W.P., (Murch 1999). "Tension plane behavior in single-row bolted connections subject to block shear," *Journal of Constructional Steel Research*, 49(3), pp. 225-239.
- [6] Humphries Matthew J.R. & Birkemoe Peter C., (June 2004). "Shear lag effects in fillet-welded tension connection of channels and similar shapes," *Connections in Steel Structures*, vol. 5.
- [7] C. Fang, A.C.C. Lam, M.C.H. Yam, (2013). "Influence of shear lag on ultimate tensile capacity of angles and tees", *J. Constr. Steel Res.* 84, 49-61.
- [8] Orbison J.G., Wagner M.E., & Fritz W.P., (Murch 1999). "Tension plane behavior in single-row bolted connections subject to block shear," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 49, no. 3, pp. 225-239.
- [9] K.K. Adewole, L.H. Teh, (2017). "Predicting steel tensile responses and fracture using the phenomenological ductile shear fracture model", *J. Mater. Civ. Eng.* 29 (12), 06017019.
- [10] S. Chen, X. Qian, A. Ahmed, (2016). "Cleavage fracture assessment for surface-cracked plates fabricated from high strength steels", *Eng. Fract. Mech.* 161, 1-20.
- [11] A.M.G. Coelho, F.S.K. Bijlaard, (2007). "Experimental behaviour of high strength steel endplate connections", *J. Constr. Steel Res.*, 63 (9), 1228-1240.
- [12] P. Dusicka, G. Lewis, (2010). "High strength steel bolted connections with filler plates", *J. Constr. Steel Res.*, 66 (1), 75-84.
- [13] X. Qian, Y. Li, O. Zhao, (2013). "Ductile tearing assessment of high-strength steel X-joints under in-plane bending", *Eng. Fail. Anal.* 28 (2), 176-191.
- [14] P. Može, D. Beg, (2010). "High strength steel tension splices with one or two bolts", *J. Constr. Steel Res.* , 66 (8) , 1000-1010
- [15] J. Wang, S. Afshan, L. Gardner, (2017). "Axial behaviour of prestressed high strength steel tubular

- members", *J. Constr. Steel Res.*, 133, 547–563.
- [16] K. Ke, Y. Chen, (2016). "Seismic performance of MRFs with high strength steel main frames and EDBs", *J. Constr. Steel Res.*, 126, 214–228.
- [17] K. Ke, M.C.H. Yam, (2018). "A performance-based damage-control design procedure of hybrid steel MRFs with EDBs", *J. Constr. Steel Res.*, 143, 46–61
- [18] AISC. (2005), Specifications for structural steel buildings, ANSI/AISC360-05, Chicago.
- [19] GUO H. (2005), "Shear lag effects on welded hot-rolled steel channels in tension", A thesis submitted to the faculty of graduate studies and research in partial fulfillment of requirements for the degree of master of science in the university of Alberta.
- [20] Yu H.L. and Jeong D.Y. (2010) "Application of a stress triaxiality dependent fracture criterion in the finite element analysis of unnotched charpy specimens," *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 54, 54–62.
- [21] American Society for Testing Materials (ASTM) (2001), "A370 standard test methods and definitions for mechanical testing of steel product".
- [22] Abedin, Mohammad, Shervin Maleki, Nafiseh Kiani and Esmail Shahrokhinasab, (2019), "Shear Lag Effects in Channels Welded at Both Legs." *Advances in Civil Engineering*. 2019, Article ID 8041767, 10 pages, <https://doi.org/10.1155/2019/8041767>
- [23] Barkhori, M., Maleki, S., Mirtaheri, M., Nazeryan, M. and Kolbadi, S.M.S. (2020), "Investigation of shear lag effect on tension members fillet-welded connections consisting of single and double channel sections", *Struct. Eng. Mech.*, 74(3), 445–455. <http://doi.org/10.12989/sem.2020.74.3.445>.
- [24] Zhang, J., Han, B., Xie, H., Yan, W., Li, W. and Yu, J. (2021), "Analysis of shear lag effect in the negative moment region of steel-concrete composite beams under fatigue load", *Steel Compos. Struct.*, 39(4), 435. <http://doi.org/10.12989/scs.2021.39.4.435>.
- [25] Maleki, S., & Ghaderi-Garekani, M. (2020). Block shear failure in welded gusset plates under combined loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 170, 106079.
- [26] Azhari M., Mirghaderi R. Design of Steel Structures. Based on the AISC Code, (2005), tenth Editing, Arkan-danesh Publications.