

Numerical Analysis of shear block in tension gusset plate connections

Seyed Shahab Emamzadeh^{1*}

1- Assistant Professor, Civil Engineering, Kharazmi University, Tehrn, Iran.

ABSTRACT

Accuracy in the design and implementation of the connections as joint elements, similar to main building elements, is of importance and each type of defects in these elements could leads to irrecoverable consequences. In this regard, gusset plate connections are a common type of connections which are of significant importance especially in structures with bracing system. Block shear is failure mechanism in these connections by which a piece of part or a block of materials in the connection fails due to the combination of tensile and shear forces. In the current study, block shear mechanism of gusset plate in welded connections is investigated using finite element simulation by ABAQUS software considering the effects of both material and geometrical nonlinearity. Also, the Effects of connection's parameters such as welds arrangement, plate thickness, weld region length, existence and absence of transverse weld and single or double type of tension part in the behaviour of connection are studied. Results are indicating that in both single and double connections, magnitude of longitudinal weld is mainly important in the way that it could improve the connection's strength before the formation of plastic areas. The general behavior of the joint in the two states of presence and absence of transverse weld in the tensile region is very close to each other and the level of force corresponding to the start of yield in the joint plate is almost the same in both joints. Increasing the thickness of the sheet in double joints has a greater effect on the force corresponding to the yield of the sheet, while the effect of thickness on the maximum bearing force of the joint has been almost the same in both cases.

ARTICLE INFO

Receive Date: 01 August 2020
Revise Date: 19 September 2020
Accept Date: 08 October 2020

Keywords:

Welded Connection
Gusset Plate
Block Shear
Finite Element Simulation
Abaqus

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.241918.2203>

*Corresponding author: Seyed Shahab Emamzadeh.
Email address: shemamzadeh@khu.ac.ir

تحلیل عددی برش بلوکی در ورق گاست اتصالات کششی تک و دوبل

سیدشهاب امامزاده^{۱*}

۱- استادیار گروه عمران، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

چکیده

دقت در طراحی و اجرای اتصالات به عنوان عناصر واسط همانند عناصر اصلی ساختمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و هرگونه ضعف در آنها می‌تواند عواقب جبران ناپذیری را به دنبال داشته باشد. از این میان، اتصالات با استفاده از ورق گاست، یکی از انواع رایج اتصالات است که بخصوص در قاب‌های مهاربندی شده از اهمیت بالایی برخوردار است. برش بلوکی یک نوع مکانیسم شکست در اینگونه اتصالات است که در اثر آن بخشی از قطعه یا بلوکی از مصالح اتصال در اثر ترکیب نیروهای کششی و برشی دچار شکست می‌شوند. در تحقیق حاضر، مکانیسم برش بلوکی ورق گاست در اتصالات جوشی با نرم افزار اجزای محدود ABAQUS و در نظر گرفتن اثرات غیرخطی بررسی گردیده است. همچنین، تاثیر پارامترهای اتصال نظیر آرایش جوش‌ها، ضخامت ورق، طول ناحیه جوشکاری، وجود جوش عرضی و تک یا دوبل بودن قطعه کششی در رفتار اتصال مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد در هر دو دسته اتصالات تک و دوبل میزان جوش طولی در رفتار اتصال بسیار حائز اهمیت است به نحوی که می‌تواند مقاومت اتصال را قبل از تشکیل نواحی پلاستیک بهبود ببخشد. رفتار کلی اتصال در دو حالت وجود و عدم وجود جوش عرضی در ناحیه کششی بسیار نزدیک به هم بوده و سطح نیروی متناظر با شروع جاری شدن در ورق اتصال نیز در دو اتصال تقریباً یکسان است. افزایش ضخامت ورق در اتصالات دوبل تأثیر بیشتری در نیروی متناظر با جاری شدن ورق دارد در حالی که تاثیر ضخامت در حداکثر نیروی تحمل اتصال در دو حالت تقریباً مشابه بوده است.

کلمات کلیدی: اتصال جوشی، ورق گاست، برش بلوکی، مهاربند، اجزاء محدود.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.241918.2203	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2020.241918.2203	۱۴۰۰/۰۹/۳۰	۱۳۹۹/۰۷/۱۷	۱۳۹۹/۰۷/۱۷	۱۳۹۹/۰۶/۲۹	۱۳۹۹/۰۵/۱۱
سیدشهاب امامزاده shemamzadeh@khu.ac.ir					*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

طرح و اجرای اتصالات به عنوان عناصر واسطه همانند عناصر اصلی ساختمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند و هرگونه ضعف در آنها می‌تواند عواقب جبران ناپذیری را به دنبال داشته باشد. اتصالات فولادی همواره از موضوعات مورد بحث در محافل پژوهشی بوده و محققین بسیاری به انجام مطالعه در این حوزه پرداخته‌اند. از اوایل قرن حاضر تا کنون، تحقیقات زیادی توسط محققین بر روی انواع اتصالات فولادی انجام شده است و بر اساس آن بسیاری از این اتصالات با توجه به استفاده روز افزون آن‌ها به صورت یک سری جزئیات استاندارد در آئین‌نامه‌های معتبر فولادی [۱] در آمده‌اند. از این میان انواع اتصالات، اتصال اعضای کششی آسیب پذیری لرزه‌ای بالایی دارد و مورد توجه محققین بسیاری بوده است. از جمله اولین تحقیقات بر روی اتصالات کششی می‌توان به پژوهش‌های Whitmore در سال ۱۹۵۲ اشاره نمود که مطالعات آزمایشگاهی را بر روی نمونه‌های اتصالات آلومینیومی در مقیاس یک چهارم انجام داد. وی دریافت که حداکثر تنش کششی در ورق گاست در ناحیه نزدیک به انتهای عضو متصل رخ می‌دهد. همچنین نشان داد که با فرض توزیع یکنواخت تنش در عضو می‌توان حداکثر تنش موجود را با دقت بسیار مناسبی بدست آورد [۲]. در سال ۱۹۵۷، Irvan تحقیقات مشابهی را انجام داد تا موقعیت تنش حداکثر را تعیین نماید [۳]. Davis و Vasarhelyi نخستین تحقیقات به روش اجزاء محدود را بر روی این مسئله انجام دادند و نتایج ارائه شده توسط Whitmore را تایید نمودند [۴ و ۵]. رفتار دینامیکی این اتصالات نیز نهایتاً توسط Rabinovitch بررسی گردید [۶].

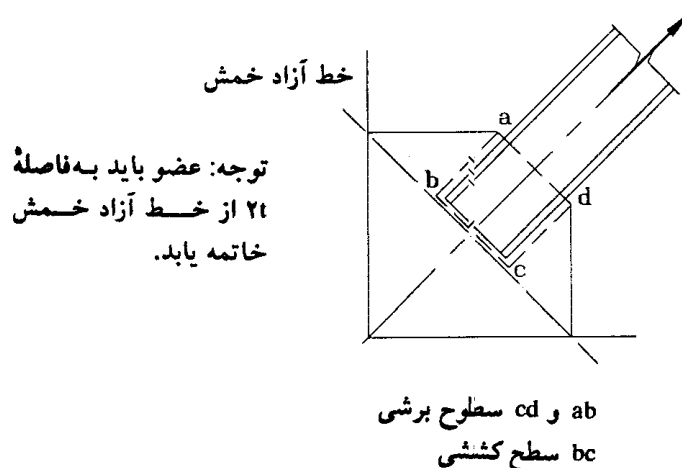
در سال ۱۹۸۴، Thornton روشی را برای طراحی اتصالات اعضای مهاربندی ارائه نمود. در این تحقیقات توصیه‌های ویرایش ۱۹۷۸ دستورالعمل AISC در نظر گرفته شد [۷]. تحقیقات دیگری توسط Bjorhovde و Hardash انجام گردید و نهایتاً نتایج تست‌های آزمایشگاهی بصورت یک رابطه ساده جهت محاسبه ظرفیت اتصال ارائه گردید. همچنین نشان داده شد که توزیع تنش یکنواخت نبوده و در عمل وابسته به خصوصیات مصالح و هندسه اتصال است [۸]. Gross و همچنین Cheng و همکاران مطالعات جدیدی را بر روی تاثیر خروج از مرکزیت اتصال در اتصالات ورق گاست انجام دادند [۹ و ۱۰]. Kulak و Grondin بررسی‌هایی بر روی آیین‌نامه‌های موجود امریکایی، اروپایی و ژاپنی انجام داده و دریافتند که اگرچه روابط موجود تخمین بسیار خوبی از مقاومت اتصال را بدست می‌دهند، مقادیر بدست آمده چندان قابل اعتماد نیست [۱۱].

در ادامه به دلیل رواج رو به رشد اینگونه اتصالات، مطالعات متعددی بر روی برش بلوکی ورق گاست در اتصالات انجام گرفت که از جمله می‌توان به تحقیقات Topkaya در سال ۲۰۰۴ اشاره نمود که نشان داد ظرفیت باربری اتصال در برابر برش بلوکی عمدتاً تحت تاثیر نسبت بار نهایی به بار جاری شدن اتصال، طول اتصال و شرایط مرزی آن دارد [۱۲]. Driver و همکاران در تحقیق خود در سال ۲۰۰۶ معادله واحدی را برای سنجش قابلیت اطمینان در مکانیسم برش بلوکی در اتصالات فولادی با استفاده از یک بانک اطلاعاتی از حدود ۲۰۰ تست آزمایشگاهی انجام شده توسط سایر محققین بدست آوردند [۱۳]. در سال ۲۰۱۱، Clements و همکاران دریافتند که صفحات خرابی برشی که از آن‌ها به عنوان صفحات برشی فعال یاد می‌شود در حد فاصل صفحات برش خالص و ناخالص قرار دارند [۱۴]. Kim و همکاران بررسی‌های آزمایشگاهی جدیدی بر روی مکانیسم شکست برش بلوکی در اتصالات برشی پیچی بین ورق‌های فولادی انجام داده و جزئیاتی در خصوص تأثیر کمانه کردن انتهای ورق بر روی مقاومت نهایی اتصالات برشی را ارزیابی نمودند [۱۵]. Driver و Oosterhof تأثیر هندسه اتصال در ناحیه جوش را در تشکیل برش بلوکی در اتصالات انتهای عضو به ورق مورد بررسی قرار دادند و میزان کفایت روابط موجود را در مقایسه با مشاهدات تجربی و نتایج آنالیزهای عددی بررسی کردند [۱۶].

بررسی‌های به عمل آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که برخی از پارامترها نظیر تأثیر خواص هندسی و بخصوص آرایش هندسی جوش در اتصال در رفتار اتصالات و مقاومت آن‌ها در برابر برش بلوکی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. همچنین تعداد کمی از محققین این نوع اتصالات را مورد مطالعه پارامتری جامع قرار داده‌اند و از این حیث موضوعی نسبتاً مناسب بوده که زمینه‌های مناسبی را برای تحقیقات آتی دارد.

۲- حالت حدی برش بلوکی ورق گاست

اتصالات اعضای کششی عمدتاً با ورق‌های اتصال (گاست) انجام می‌پذیرد. گاست پلیت‌ها معمولاً برای اتصال بادبند به تیر و ستون مورد استفاده قرار می‌گیرند. گسیختگی اینگونه اتصالات تحت کشش به پارامترهای متعدد هندسی اتصال بستگی دارد. مسئله مورد بررسی این تحقیق، مکانیسم برش بلوکی گاست‌ها تحت نیروهای کششی است. این مکانیسم احتمال وقوع در قطعات کششی خرپاهای پل، سقف‌ها، برج‌های مشبک و در بادبندها دارد. شکل ۱ نمونه‌هایی از اتصال جوشی ورق گاست را در سیستم‌های مهاربندی فولادی نشان می‌دهد.



شکل ۱: نمونه‌هایی از اتصال جوشی ورق گاست، برش قالبی و سطوح کششی و برشی

اصولاً طراحی مقطع مناسب برای اعضای کششی از مسائل بسیار ساده طراحی است. چون در قطعات کششی مسأله کماتش وجود ندارد، لکن وجود برخی حالات رفتاری خاص نظیر مکانیسم برش بلوکی در اتصالات اعضای کششی، ملاحظات خاصی را در مرحله طراحی طلب می‌کند که باید به دقت بررسی شود. مقاومت برش بلوکی به روش تنش مجاز، طبق شکل ۲ از رابطه ۱ بدست می‌آید:

$$T \leq A_v F_v + A_t F_t \quad (1)$$

A_v : سطح مقطع خالص در برش

F_v : تنش برشی مجاز (مساوی $0.3F_u$)

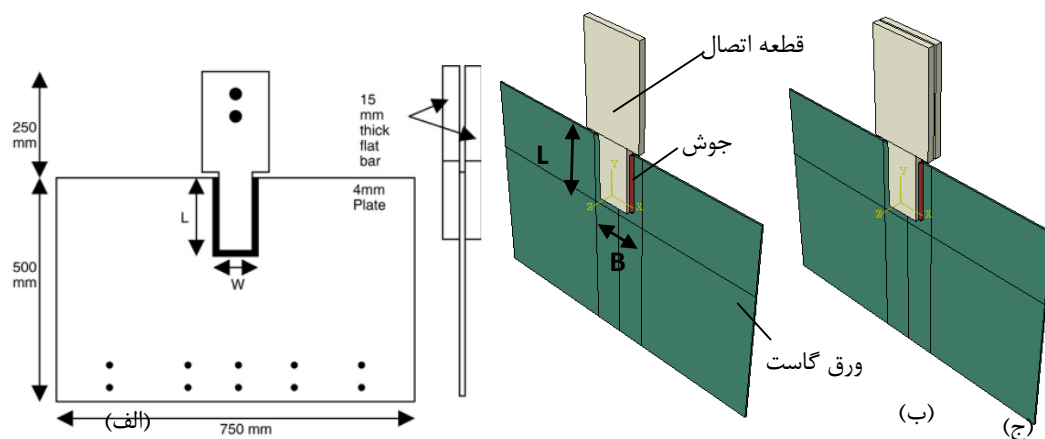
A_t : سطح مقطع خالص کششی

F_t : تنش کششی مجاز (مساوی $0.5F_u$)

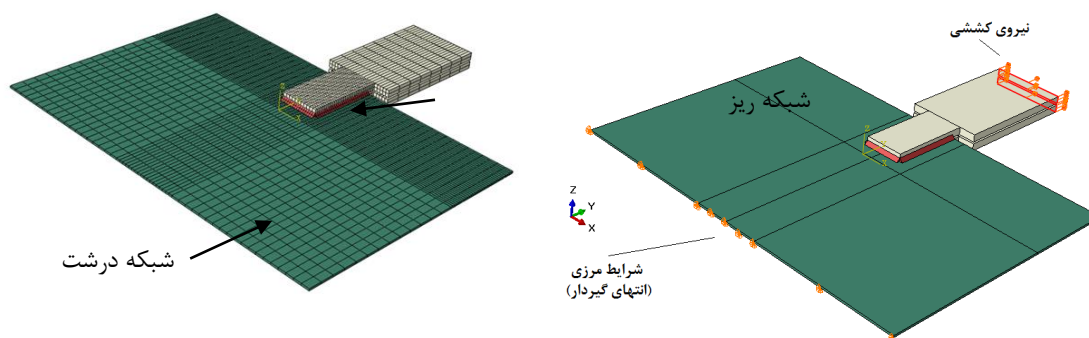
T : نیروی کششی بادبند

۳- مدل‌سازی عددی ورق گاست

در این تحقیق برای بررسی رفتار اتصالات ورق گاست و تأثیر پارامترهای کلیدی بر برش بلوکی از روش عددی اجزاء محدود و نرم افزار ABAQUS [۱۷] استفاده گردید. ورق گاست و قطعات متصل به آن با المان‌های تنش صفحه‌ای دوبعدی ۸‌گره‌ای با انتگرال‌گیری کاهش یافته موجود در نرم افزار بنام C3D8R شبکه‌بندی شدند. از مدل رفتاری دوخطی فولاد با سخت شوندگی سینماتیکی خطی استفاده گردید. طبق شکل (الف) ۲، نحوه بارگذاری مسئله بدین صورت است که ورق گاست از یک سمت توسط شرایط مرزی ثابت نگه داشته شده و از سمت دیگر به قطعات اتصال متصل شده است. با استفاده از این مدل، تأثیر آرایش جوش‌ها در محل اتصال، ضخامت ورق اتصال، طول ناحیه جوشکاری و وجود یا عدم وجود جوش عرضی در رفتار اتصال مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل‌سازی عددی در دو حالت اتصال اعضاء با مقطع تک و مقطع دوبل انجام شد. در هر حالت، وضعیت‌های مختلف آرایش جوش‌های اتصال مدل‌سازی گردید. شکل ۲ وضعیت هندسی مسئله را نشان می‌دهد. شکل ۳ تراکم شبکه و شرایط مرزی نیرویی و تغییرمکانی را نشان می‌دهد.



شکل ۲: (الف) اتصال مقطع تک، (ب) اتصال مقطع دوبل (ج) مدل آزمایشگاهی Topkaya



شکل ۳: شبکه اجزای محدود و شرایط مرزی نیرویی و تغییرمکانی

همانطور که ملاحظه می‌گردد، از شبکه بسیار ریز در ناحیه اتصال استفاده گردیده است تا تشکیل مکانیسم و روند توسعه تنش در ناحیه برش بلوکی بطور مطلوبی نشان داده شود. اندازه شبکه در این ناحیه برابر با ضخامت ورق گاست در نظر گرفته شده است. در سایر نواحی و در تکیه‌گاه‌ها اندازه المان برابر ۴ تا ۵ برابر ضخامت ورق گاست در نظر گرفته شده است تا از افزایش بیش از حد زمان تحلیل اجتناب شود. جهت عدم وابستگی نتایج به اندازه شبکه، حداکثر اندازه المان‌های درشت طبق تحلیل حساسیت جدول ۱ برابر ۲۵mm انتخاب شد.

جدول ۱: نتایج تحلیل حساسیت اندازه شبکه اجزای محدود

حداکثر ابعاد المان‌ها (mm)	مقاومت نهایی (kN)	درصد تفاوت %
۱۰۰	۴۳۷	
۵۰	۴۱۱	۶٫۳
۲۵	۴۰۴	۱٫۷

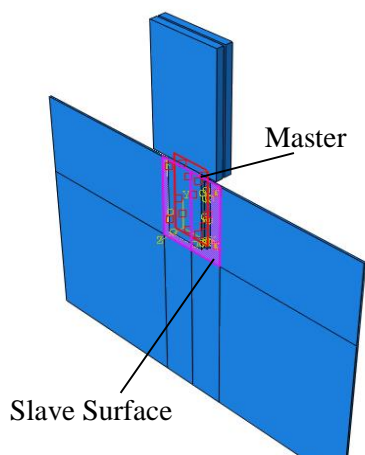
۲-۳- خصوصیات مکانیکی مصالح

در اکثر پروژه‌های صنعتی کشور از فولاد ST37 یا ST52 استفاده می‌شود که در اینجا به علت رواج بیشتر از ST37 استفاده شده است. شبیه‌سازی فولاد با استفاده از مدل الاستوپلاستیک با خاصیت سخت‌شوندگی خطی انجام شده است که قابلیت مدل‌سازی رفتار غیرخطی نیز دارد. مدول الاستیسیته $E = 213 \text{ GPa}$ ، ضریب پواسون $\nu = 0.3$ ، چگالی $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ و تنش جاری شدن مصالح فولادی که برابر 2400 Kg/cm^2 منظور گردیده است. مصالح جوش مطابق خصوصیات جوش با الکتروود E6013 در نظر گرفته شده است.

۳-۳- قیدهای اندرکنشی

قیدهای اندرکنشی به علت حرکت نسبی بین ورق اتصال و اعضای متصل به ورق فعال می‌شوند. این قیود با تعریف رفتار تماسی بین قطعات مدل می‌گردد. این قیود باید قابلیت کنترل میزان نزدیکی مرز اجسام را داشته و از فرو رفتن سطوح مقابل به هم در یکدیگر جلوگیری نماید. کلیه گرہ‌های انتهای قطعه کششی با استفاده از قابلیت قید چند نقطه‌ای به یک گرہ مبنا در قطعه صلب مقید گردیده‌اند. این کار امکان اعمال شرایط بارگذاری یکنواخت را حالت شرایط مرزی کنترل جابجایی فراهم می‌نماید.

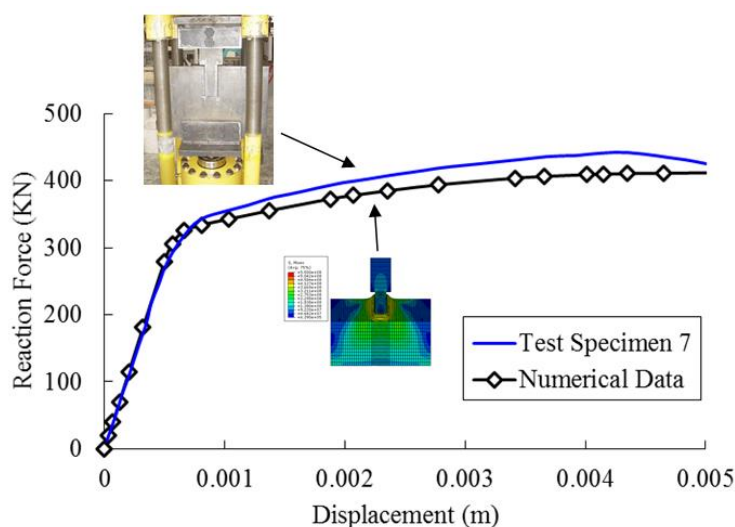
یکی از راهکارهای متعارف در مدل‌سازی عددی عموماً با هدف کاهش زمان محاسبات و حجم حافظه مصرفی، استفاده از مدل اتصال دائم (Tie Model) برای منظور نمودن اتصال بین اجزاء اتصال است. برخی دیگر نیز، تنها بخش کوچکی از هندسه مسئله را در محل تماس مدل‌سازی می‌نمایند که به علت نادیده گرفتن برخی عوامل در شرایط اندرکنش بین اجزاء سازه (قطعات اتصال و ورق) منجر به خطاهای عددی و کاهش دقت می‌گردد. در تحقیق حاضر، بر خلاف روش‌های معمول، مدل‌سازی به صورت کامل و با استفاده از المان‌های سه بعدی هشت گرہی (C3D8R) و تعریف اندرکنش بین اعضای با استفاده از فرضیه‌های مناسب به نحوی انجام گردیده است که ضمن منظور نمودن هزینه‌های محاسباتی مدل، دقت لازم در مدل‌سازی و انجام محاسبات را نیز اعمال نماید. شکل ۴ نحوه اعمال شرایط اندرکنش تماس را توسط یک قید Contact در مدل عددی نشان می‌دهد.



شکل ۴: نحوه اعمال شرایط اندرکنش تماس

۴- صحت سنجی مدل عددی

به منظور اطمینان از صحت روش مدل سازی، آزمایش‌های انجام شده توسط Topkaya در سال ۲۰۰۷ [۱۸] انتخاب گردید. در آزمایش‌های انجام شده Topkaya مقاومت اتصالات جوشی در برابر برش بلوکی مورد بررسی قرار گرفت. منحنی بار-جابجایی بدست آمده از یکی از آزمایش‌ها (نمونه شماره ۷ مقاله ارائه شده) به عنوان مبنای صحت سنجی انتخاب گردید. شکل ۵ و جدول ۲ مقایسه نتایج تحقیق حاضر را با نتایج آزمایش‌های Topkaya نشان می‌دهد. چنانچه ملاحظه می‌گردد، مدل عددی دارای دقت بسیار بالایی در پیش بینی نتایج تجربی بوده و نشان می‌دهد مدل سازی با دقت بالایی انجام گردیده است. البته اختلاف بسیار کمی نیز بین نتایج مشاهده می‌گردد که می‌تواند مربوط به اثراتی مانند متفاوت بودن وضعیت قیدهای گیرداری در مدل عددی و نمونه آزمایشگاهی و همچنین پارامتری مثل نرخ سخت شوندگی کرنشی باشد که در مدل عددی به علت استاتیکی بودن تحلیل وجود ندارد ولی در آزمایش واقعی امکان اعمال بار کاملاً استاتیک میسر نیست. با این حال دقت مدل عددی قابل قبول است.



شکل ۵: مقایسه نتایج مدل عددی تحقیق حاضر با داده‌های حاصل از تست‌های تجربی Topkaya در سال ۲۰۰۷

جدول ۲: مقایسه نتایج تحلیل عددی با نتایج آزمایشگاهی

درصد اختلاف	آزمایشگاهی Topkaya	عددی	
۰/۶۵	۳۰۵	۳۰۳	سختی اولیه (حد رفتار خطی) (kN)
۱/۲۳	۳۲۵	۳۲۱	نیروی تسلیم (kN)
-	شکست قطعه	معیار فون مایسز	مکانیزم خرابی

۵- مشخصات هندسی مدل‌های عددی

به منظور بررسی پارامترهای موثر بر رفتار اتصالات، مدل‌های عددی با حالات مختلف هندسی ساخته شده تا تغییرات پارامترها و پاسخ متناظر آن‌ها را نشان دهند. جزئیات مدل‌های عددی بررسی شده به شرح جدول است. تحلیل‌های عددی به روش اجزاء محدود و با در نظر گرفتن اثرات غیرخطی هندسی و مصالح بر روی مدل‌های ساخته شده انجام گردید. در هنگام بررسی اثر تغییر در یک پارامتر تمامی

دیگر پارامترها ثابت نگه داشته شد تا تاثیر پارامتر مورد نظر به درستی بررسی گردد. نتایج بررسی از مجموع ۲۴ مدل عددی نهایی استخراج گردیده است.

جدول ۴: مشخصات هندسی نمونه های مورد مطالعه (اتصالات با مقطع تک)

شماره نمونه	نوع اتصال	عرض ناحیه اتصال (B)	طول ناحیه اتصال (L)	آرایش جوش	ضخامت ورق (t)
۱	اتصال مقطع تک	۸۰	۸۰	_	۳
۲	اتصال مقطع تک	۸۰	۸۰	_	۵
۳	اتصال مقطع تک	۸۰	۸۰	_	۴
۴	اتصال مقطع تک	۸۰	۱۱۰	_	۴
۵	اتصال مقطع تک	۸۰	۱۴۰	_	۴
۶	اتصال مقطع تک	۸۰	۸۰		۴
۷	اتصال مقطع تک	۸۰	۱۱۰		۴
۸	اتصال مقطع تک	۸۰	۱۴۰		۴
۹	اتصال مقطع تک	۱۴۰	۱۴۰	_	۴
۱۰	اتصال مقطع تک	۱۴۰	۱۷۰	_	۴
۱۱	اتصال مقطع تک	۱۴۰	۲۰۰	_	۴
۱۲	اتصال مقطع تک	۱۴۰	۱۴۰		۴

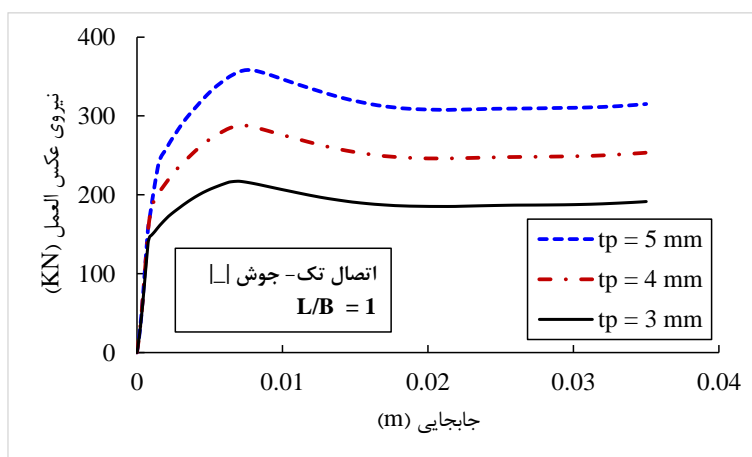
کلیه واحدها برحسب mm است

توضیح اینکه نخست اتصالات با مقطع تک تحت بررسی قرار گرفته بود در ادامه به منظور ایجاد جامعیت لازم در نتایج تحقیق مدل های با مقطع دوبل نیز در حالات مختلف هندسه منظور گردیده است.

۵- مطالعه پارامتریک

۵-۱- اتصال با مقطع تک

یکی از پارامترهای مهم در رفتار اینگونه اتصالات، ضخامت ورق اتصال است. مطابق شکل ۶، بررسی تأثیر ضخامت اتصال در رفتار اتصالات تک نشان می دهد که افزایش در ضخامت ورق اتصال در محدوده مورد بررسی در این تحقیق سبب افزایش مقاومت کششی اتصال می گردد. در حقیقت، سطح بار متناظر با شروع رفتار غیرخطی و همچنین بار حداکثر تحمل شده در اتصال، هر دو با افزایش ضخامت ورق افزایش یافته اند. با افزایش ضخامت از ۳ به ۴ میلیمتر، نیروی متناظر با شروع جاری شدن ورق به میزان ۱۴ درصد و نیروی حداکثر تحمل شده در اتصال ۳۳ درصد افزایش یافته است. این میزان افزایش برای حالت ورق با ضخامت ۵ میلیمتر به ترتیب برابر با ۶۱ و ۶۵ درصد است.



شکل ۶: بررسی تأثیر ضخامت اتصال در رفتار اتصال تک (جوش | |)، $L/B=1$

میزان جوش در راستای طولی نیز در طراحی اتصالات کششی از پارامترهای مهم و همواره بحث برانگیز است و کفایت این جوش از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. آنچه مسلم است هرچه این طول بیشتر باشد طول ناحیه بلوکی که در معرض برش قرار می‌گیرد بیشتر بوده و مقاومت بیشتری از خود بروز می‌دهد. سه حالت مختلف طول جوش (L/B) برابر با 1.0، 1.375 و 1.75 در نظر گرفته شده است. شکل ۷ نتایج بررسی را برای دو حالت مختلف آرایش جوش و در دو وضعیت نسبت عرض اتصال به ضخامت ورق نشان می‌دهد.

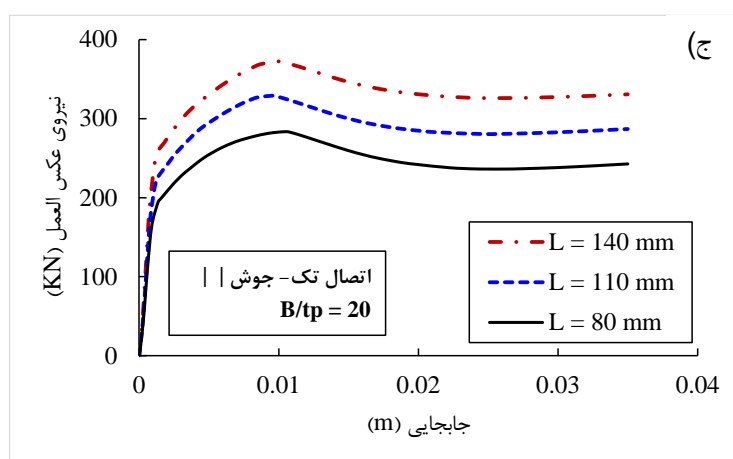
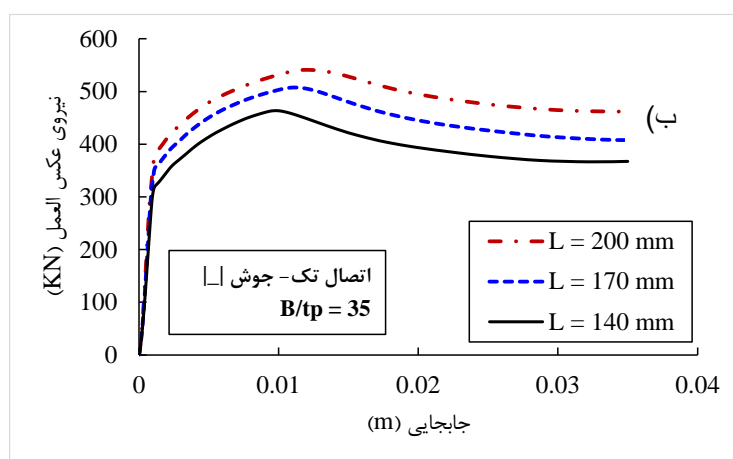
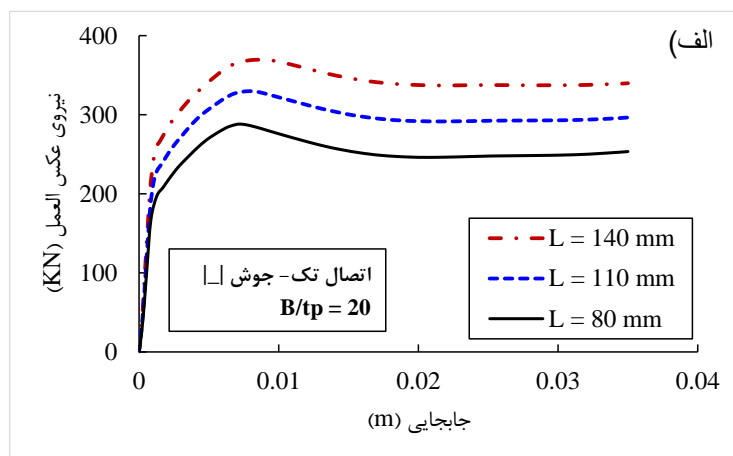
مطابق شکل ۷-الف، با افزایش طول جوش، مقاومت اتصال نیز افزایش می‌یابد. مقایسه اتصالات با طول جوش‌های ۸۰ و ۱۱۰ میلی‌متر حاکی از آن است که با افزایش حدود ۴۰ درصدی میزان جوش طولی، افزایش ۳۷ درصدی در نیروی متناظر با شروع جاری شدن در ورق و ۱۴ درصد افزایش در حداکثر نیروی تحمل اتصال مشاهده می‌شود. در اتصال با میزان جوش طولی ۱۴۰ میلی‌متر (۷۵ درصد افزایش جوش طولی) این مقادیر به ترتیب برابر ۵۵ و ۲۸ درصد هستند.

آنچه به نظر می‌رسد افزایش میزان جوش طولی تأثیر بیشتری در مقاومت اولیه اتصال در مقایسه با مقاومت حداکثر آن دارد. به منظور ارزیابی دقیق‌تر موضوع، در شکل ۷-ب بررسی وضعیت مشابه با حالت قبل ولی در حالت جوش موازی (حالت | |) نشان داده شده است. بررسی کیفی نتایج همچنان تأثیر مثبت افزایش میزان جوش طولی اتصال را در مقاومت اتصال نشان می‌دهد. ضمن آنکه، افزایش حدود ۴۰ درصدی ($L/B = 1.375$) میزان جوش طولی مقدار نیروی متناظر با شروع جاری شدن را ۴۲ درصد و حداکثر نیروی تحمل شده اتصال را ۱۶ درصد افزایش داده است. این مقادیر برای حالت $L/B = 1.75$ به ترتیب برابر ۶۰ و ۳۱ درصد می‌باشد.

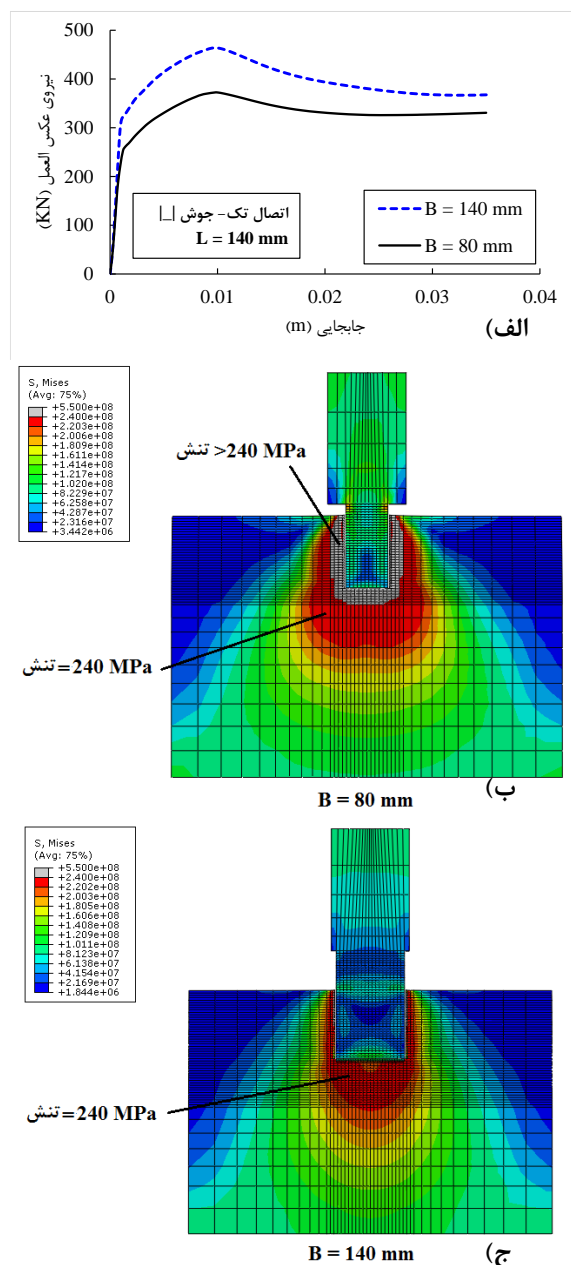
نهایتاً وضعیت جوش کامل (|_|) برای حالت ($B/tp = 35$) در سه حالت طول جوش $L/B = 1.0$ ، $L/B \approx 1.2$ و $L/B \approx 1.4$ بررسی گردیده است. مطابق شکل، با افزایش حدود ۲۰ درصدی میزان جوش طولی ۱۲ درصد افزایش را در نیروی متناظر با شروع جاری شدن و ۱۰ درصد افزایش نیز در مقاومت حداکثر اتصال مشاهده می‌شود.

مقایسه مشابه برای حالت افزایش ۴۰ درصدی میزان جوش طولی ($L/B \approx 1.4$) نشان دهنده افزایش به ترتیب ۱۸ و ۱۷ درصدی در مقاومت اتصال بوده است. در نتیجه با افزایش عرض ناحیه اتصال وضعیت نیرویی تا حدی دستخوش تغییر می‌شود. بطوری که تغییرات در میزان جوش طولی در عرض‌های کمتر مؤثرتر بوده است.

به منظور مقایسه، در شکل ۸-الف مقایسه نتایج بین اتصالات با میزان جوش طولی یکسان و در دو حالت $B/tp = 20$ و $B/tp = 35$ انجام شده است تا تأثیر میزان جوش عرضی که در عمل سبب افزایش فاصله جوش‌های طولی نیز می‌شود را نشان دهد. نتایج نشان دهنده مقاومت بالاتر اتصال با میزان جوش عرضی بیشتر است که حدود ۲۰ درصد افزایش را در بر داشته است.



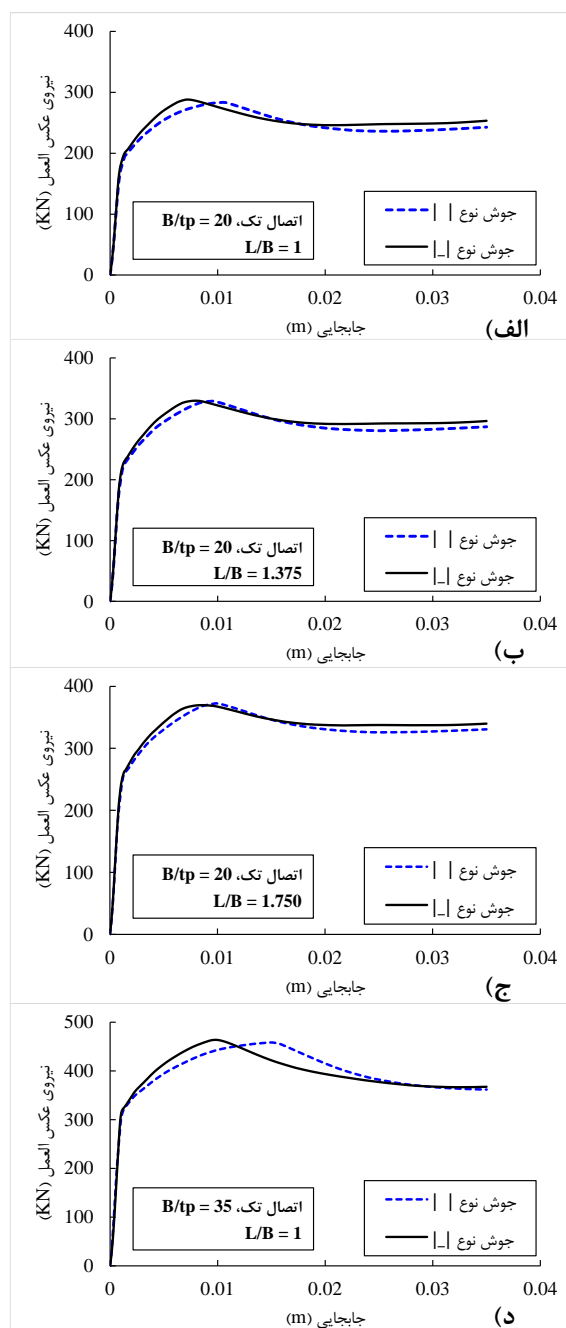
شکل ۷: بررسی تأثیر جوش طولی در رفتار اتصال تک الف) جوش | |، ب) جوش | |، ج) جوش | |، B/tp = 35، B/tp = 20، B/tp = 20



شکل ۸: بررسی تأثیر جوش عرضی در رفتار اتصال تک (الف) مقایسه منحنی بار-جابجایی، (ب) وضعیت تنش در حالت B=80 mm، (ج) وضعیت تنش در حالت B=140mm

شکل‌های ۸-ب و ۸-ج مقایسه وضعیت تنش‌های ایجاد شده را در دو اتصال با جوش‌های عرضی مختلف در سطح بار متناظر با جابجایی ۱ سانتی متری در اتصال اول (B = 80 mm) نشان می‌دهد. چنانچه ملاحظه می‌گردد، در سطح نیرویی مشخص شده برای دو اتصال، اتصال با جوش عرضی ۸۰ میلی‌متر (در مقایسه با عرض ۱۴۰ میلی‌متر) در سطح وسیعی تری از ورق اتصال به سطح تنش جاری شدن رسیده است و همچنین ناحیه گسترده‌ای در اطراف قطعه کششی سطح تنش‌ی به مراتب بزرگتر از تنش جاری شدن را تجربه نموده است و لذا اتصال مقاومت خود را از دست داده است. عملکرد قوی‌تر ناحیه مقاوم در کشش در اتصال سبب افزایش مقاومت اتصال گردیده است. در ادامه، تأثیر وجود و یا عدم وجود جوش در ناحیه تحت کشش (جوش عرضی) مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور اتصالات مشابه از نقطه نظر هندسی و مصالح در دو وضعیت هندسه جوش (جوش | | و جوش | |) مورد آنالیز قرار گرفتند. شکل ۹ مقایسه نتایج به منظور شناسایی تأثیر هندسه جوش در رفتار اتصالات تک را در چهار حالت مختلف هندسه اتصال در دو وضعیت با و بدون جوش عرضی نشان

می‌دهد. طبق شکل ۹، رفتار کلی دو اتصال بسیار نزدیک به هم بوده و سطح نیروی متناظر با شروع جاری شدن در ورق اتصال نیز در دو اتصال تقریباً مشابه است. لکن، با توجه به مقایسه انجام شده باید گفت که افزایش میزان جوش عرضی در اتصال و فاصله گرفتن شاخه‌های موازی جوش طولی علی‌رغم آنکه باز هم در سطح بار نهایی اتصال تأثیر چندانی ندارد، ولی می‌تواند در تغییر شکل اتصال موثر بوده و تفاوت نتایج را پررنگ نماید.

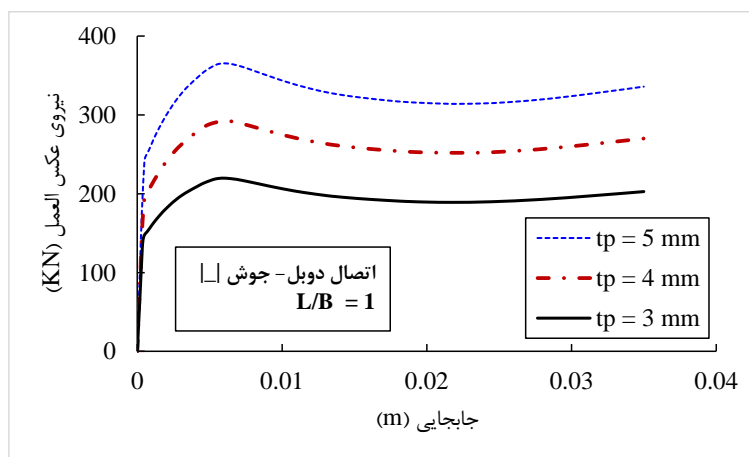


شکل ۹: بررسی تأثیر هندسه جوش در رفتار اتصال تک

۵-۲- اتصال با مقطع دابل

مقایسه‌های مشابهی نیز برای اتصالات با مقطع اتصال دابل انجام گرفته است. تأثیر ضخامت ورق در رفتار بار-جابجایی اتصالات دابل در شکل ۱۰ نشان می‌دهد که در اتصالات دابل نیز، افزایش در ضخامت ورق اتصال در محدوده مورد بررسی در این تحقیق سبب

افزایش مقاومت کششی اتصال گردیده است. مقایسه داده‌ها با حالت اتصال تک نشان دهنده تأثیر بیشتر افزایش ضخامت در نیروی متناظر با جاری شدن ورق در اتصالات دابل دارد در حالی که تأثیر ضخامت در حداکثر نیروی تحمل اتصال در دو حالت تقریباً مشابه بوده است.



شکل ۱۰: بررسی تأثیر ضخامت اتصال در رفتار اتصال دابل (جوش)، $L/B=1$

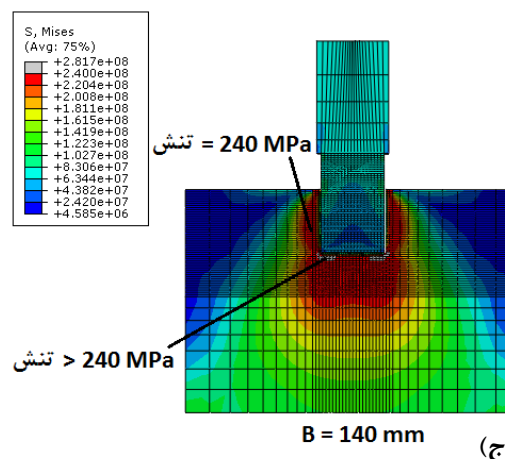
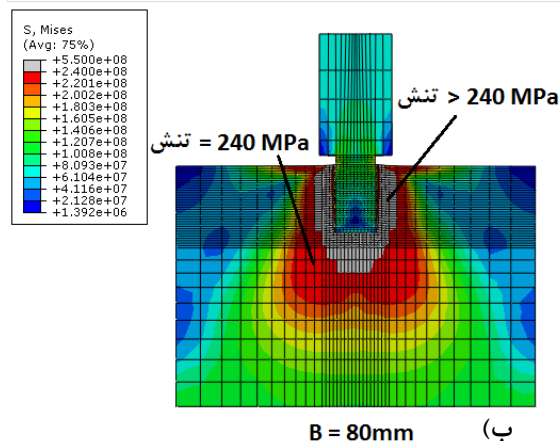
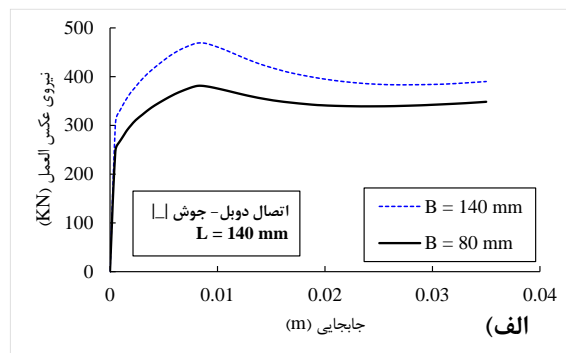
مقایسه‌های مشابهی برای سنجش تأثیر میزان جوش طولی نیز در اتصالات با مقطع دابل انجام گردید که نتایج افزایش مقاومت ورق را در برابر افزایش میزان جوش طولی نشان داد. مقایسه نتایج با داده‌های متناظر در اتصالات تک نشان دهنده کاهش تأثیر افزایش میزان جوش طولی اتصالات دابل در مقاومت حداکثر اتصال در حالت جوش موازی بود. بررسی‌ها نشان داد که در حالت اتصال دابل، از آنجا که ورق اتصال از دو طرف تحت نیروهای برشی هدایت شده از طرف جوش‌های طولی قرار می‌گیرد، لذا با در حالت‌های با جوش طولی بیشتر نیز تجمیع نیروهای وارده سبب جاری شدن سریع ورق اتصال می‌شود و لذا تفاوت نیروهای متناظر با آن‌ها در این حالت به بزرگی حالت اتصالات تک نمی‌باشد.

بررسی تأثیر میزان جوش عرضی در اتصالات دابل نیز (شکل ۱۱-الف) نشان دهنده مقاومت بالاتر اتصال با میزان جوش عرضی بیشتر است که ۲۸ درصد افزایش را در مقاومت در برابر جاری شدن ورق در بر داشته است. همچنین افزایش مقاومت نهایی اتصال برابر ۲۴ درصد بوده است که تأثیر قابل توجه جوش عرضی بزرگتر را در اتصال نشان می‌دهد.

البته همانطور که در بخش قبل ذکر شد، بخشی از این افزایش مقاومت نیز می‌تواند به علت فاصله خطوط جوش طولی از یکدیگر باشد. مقایسه داده‌های بدست آمده با نتایج مربوط به بخش قبل نشان دهنده اهمیت میزان جوش عرضی در رفتار اتصالات در هر دو حالت اتصال تک و دابل بوده است. در هر دو دسته اتصال بطور متوسط بیش از ۲۰ درصد افزایش مقاومت را در اتصال شاهد بوده ایم که مقدار قابل توجهی است.

مقایسه وضعیت تنش‌های ایجاد شده در اتصالات دابل در دو حالت میزان جوش عرضی و در سطح بار کششی یکسان در شکل ۱۱-ب و ۱۱-ج نشان داده شده است. چنانچه ملاحظه می‌گردد، در سطح نیرویی مشخص شده برای دو اتصال، اتصال با میزان جوش عرضی کمتر (۸۰ میلی‌متر) در سطح وسیعی از ورق اتصال به سطح تنش جاری شدن (240 MPa) رسیده است و تنش‌های بزرگتر از 240 MPa نیز در سطح وسیعی در اطراف قطعه کششی رخ داده است و اتصال در این نواحی دیگر مقاومتی قابل توجهی از خود نشان نمی‌دهد.

در طرف دیگر، نیروی کششی مشابهی که به اتصال با جوش عرضی برابر با ۱۴۰ میلی‌متر وارد گردیده است موجب تشکیل نواحی جاری شده در سطحی به مراتب کوچکتر گردیده و تنها در نواحی بسیار کوچکی، تجاوز سطح تنش از 240 MPa مشاهده شد.

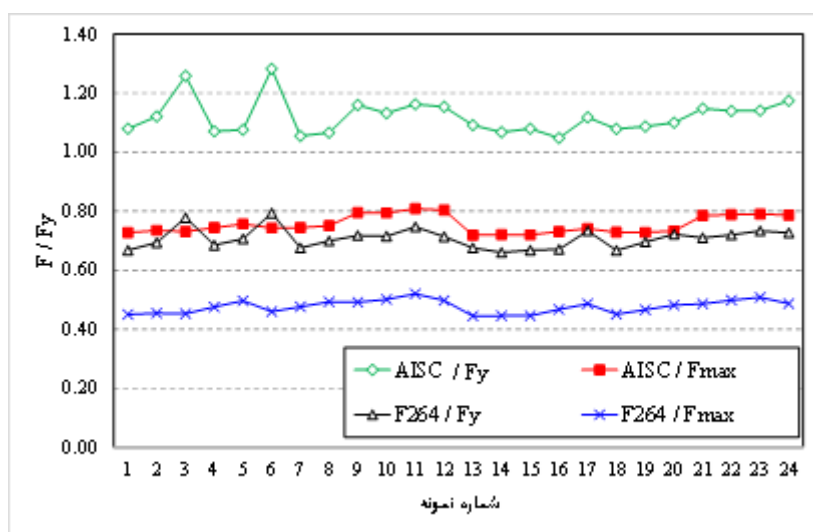


شکل ۱۱: بررسی تأثیر جوش عرضی در رفتار اتصال دوپل الف) مقایسه منحنی بار-جابجایی، ب) وضعیت تنش در حالت B=80 mm، ج) وضعیت تنش در حالت B=140mm

بررسی‌های لازم در خصوص تأثیر وجود و یا عدم وجود جوش عرضی نیز همچنان نشان دهنده تأثیر نه چندان پررنگ این پارامتر بوده است. لکن، بررسی نتایج آنالیزهای اتصالات در دو حالت تک و دوپل نشان می‌دهد که افزایش ناحیه جوش عرضی حتی اگر از نقطه نظر حضور یا عدم حضور آن تأثیر چندانی در رفتار اتصال نداشته باشد، از آن جهت که فاصله دو ردیف جوش طولی در اتصال را افزایش می‌دهد می‌تواند در رفتار اتصال اثرات قابل توجهی را ایجاد نماید.

۶- مقایسه نتایج با مقادیر حاصل از روابط آیین‌نامه‌ای

در این بخش، داده‌های حاصل از تحلیل‌های عددی با مقادیر مشابه مستخرج از روابط موجود در آیین‌نامه‌های رایج نظیر AISC2017 و آیین‌نامه اتصالات ایران (نشریه ۲۶۴ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور) مقایسه گردیده است (شکل ۱۲). نتایج نشان می‌دهد داده‌های بدست آمده از روابط آیین‌نامه AISC مقادیری بزرگتر از نیروی متناظر با شروع جاری شدن ورق بوده و بطور متوسط نسبتی برابر ۱/۱۲ را در برابر داده‌های حاصل از تحلیل عددی دارا هستند. مقایسه داده‌ها با نیروی حداکثر تحمل شده توسط اتصال نشان از کمتر بودن نتایج روابط آیین‌نامه‌ای از حداکثر مقاومت اتصال دارد که انتظار آن نیز می‌رود. داده‌های آیین‌نامه‌ای بطور متوسط نسبتی برابر ۰/۷۵ در برابر داده‌های حداکثر بدست آمده از تحلیل عددی دارند. در آن سوی دیگر، بررسی داده‌های بدست آمده از روابط آیین‌نامه اتصالات ایران نشان دهنده این است که حدود مجاز تعیین شده در این آیین‌نامه از هر دو مقدار نیروی متناظر با جاری شدن ورق و نیرو حداکثر تحمل شده توسط اتصال بطور قابل توجهی کوچکتر است. مقایسه داده‌های آیین‌نامه‌ای با نیروی جاری شدن بدست آمده از تحلیل عددی نشان دهنده نسبت بطور متوسط برابر ۰/۷۰ برای آن‌ها است که نشان می‌دهد حدود معرفی شده بسیار سخت‌گیرانه‌تر بوده است و بخشی از مقاومت اتصال در آن لحاظ نشده است. مقایسه با داده‌های مربوط به نیروی حداکثر اتصال نیز نشان دهنده نسبت بطور متوسط ۰/۴۷ برای آن‌ها است.



شکل ۱۲: نسبت نیروی محاسباتی از روابط آیین‌نامه‌ای مقدار نیروی متناظر از آنالیز عددی

۷- نتیجه گیری

- در این تحقیق، مکانیسم برش بلوکی در اتصالات کششی ورق گاست با مدل اجزاء محدود غیرخطی مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر هندسه اتصال بررسی گردید و نتایج بصورت منحنی‌های بار-جابجایی نمونه‌های اتصال مقایسه شد. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان می‌دهد:
- افزایش در ضخامت ورق اتصال در محدوده مورد بررسی در این تحقیق سبب افزایش مقاومت کششی اتصال می‌گردد بدین صورت که سطح بار متناظر با شروع رفتار غیر خطی و همچنین بار حداکثر تحمل شده در اتصال، هر دو با افزایش ضخامت ورق افزایش می‌یابند. این میزان افزایش بین ۱۴ تا ۶۵ درصد متغیر بوده است.
 - افزایش میزان جوش طولی می‌تواند افزایش مقاومت اتصال تا ۲۸ درصد را به همراه داشته است. همچنین با افزایش میزان جوش طولی، نیروی متناظر با شروع جاری شدن ورق تا ۵۵ درصد افزایش را تجربه نموده است که بسیار حائز توجه است. این میزان افزایش برای اتصالات فاقد جوش در ناحیه عرضی تا ۶۰ درصد نیز رسیده است. لکن تأثیر این پارامتر در اتصالات دوپل کمتر از اتصالات تک می‌باشد.

- افزایش میزان جوش طولی تاثیر بیشتری در مقاومت اولیه اتصال در مقایسه با مقاومت حداکثر آن دارد. این امر می تواند در مقاصد طراحی بسیار حائز اهمیت و مورد توجه باشد.
- با افزایش عرض ناحیه اتصال وضعیت نیرویی تا حدی دستخوش تغییر می شود و تاثیر تغییرات جوش طولی تا حدی خفیف تر می گردد.
- رفتار کلی اتصال در دو حالت وجود و عدم وجود جوش عرضی در ناحیه کششی بسیار نزدیک به هم بوده و سطح نیروی متناظر با شروع جاری شدن در ورق اتصال نیز در دو اتصال تقریباً یکسان است.
- افزایش ضخامت ورق در اتصالات دابل تأثیر بیشتری در نیروی متناظر با جاری شدن ورق دارد در حالی که تاثیر ضخامت در حداکثر نیروی تحمل اتصال در دو حالت تقریباً مشابه بوده است.
- در حالت اتصال دابل، از آنجا که ورق اتصال از دو طرف تحت نیروهای برشی هدایت شده از طرف جوش های طولی قرار می گیرد، لذا با در حالت های با جوش طولی بیشتر نیز تجمیع نیروهای وارده سبب جاری شدن سریع ورق اتصال می شود و لذا تفاوت نیروهای متناظر با آن ها در این حالت به بزرگی حالت اتصالات تک نیست.

مراجع

- [1] AISC (2017)., *Steel Construction Manual*, 13th Edition, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.
- [2] Whitmore, R.E. (1952). *Experimental Investigation of Stresses in Gusset Plates*. Bulletin No.16, Engineering Experiment Station, University of Tennessee.
- [3] Irvan, W.G. (1957). *Experimental Study of Primary Stresses in Gusset Plates of a Double Plane Pratt Truss*, University of Kentucky, Engineering Research Station, Bulletin No. 46, December.
- [4] Davis, C. (1967). *Computer Analysis of the Stresses in a Gusset Plate*. Seattle, WA: Thesis, University of Washington.
- [5] Vasarhelyi, D. D. (1971). Tests of Gusset Plate Models. *Journal of the Structural Division*, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 97, No. ST2, February, pp. 665-679.
- [6] Rabinovitch J. S., Roger Cheng J.J., (1993). *Cyclic Behavior of Steel Gusset Plate Connections*, Structural Engineering Report No. 191, University of Alberta.
- [7] Thornton, W.A., (1984). Bracing Connections for Heavy Construction, *Engineering Journal*, AISC, Vol. 21, No. 3, pp. 139-148.
- [8] Hardash, S.G. and Bjorhovde, R., (1984). *Gusset Plate Design Utilizing Block-Shear Concepts*, Research Report, Department of Civil Engineering, University of Arizona-Tuscan, Arizona.
- [9] Gross, J.L., (1990). *Experimental Study of Gusseted Connections*. *Engineering Journal*, AISC, Vol. 27, No. 3, Third Quarter, pp. 89-97.
- [10] Hu, S. Z., and Cheng, J.J.R, (1987). *Compressive Behavior of Gusset Plate Connections*. Structural Engineering Report No. 153, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta.
- [11] Kulak, G.L., and Grondin, G.Y. (2001). AISC LRFD rules for block shear—a review. *AISC Engineering Journal*, 38(4): 199–203.
- [12] Topkaya, C. (2004). A finite element parametric study on block shear failure of steel tension members. *Journal of Constructional Steel Research*, 60 (11), 1615-1635.
- [13] Driver, R.G., Grondin, G.Y., Kulak G.L. (2006), Unified block shear equation for achieving consistent reliability, *Journal of Constructional Steel Research*, 62, 210–222.
- [14] Clements, D.D.A., Teh L.H. (2011). Active Shear Planes of Bolted Connections Failing in Block Shear, *Journal of Structural Engineering*.
- [15] Kim T., Jeong H., Cho T., "The finite element analysis of the ultimate behavior of thin-walled carbon steel bolted connections", *Journal of Constructional Steel Research* 67 (2011) 1086–1095.
- [16] Oosterhof, S.A., Driver R.G. (2011). Effects of connection geometry on block shear failure of welded lap plate connections, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 67, pp 525–532.
- [17] Abaqus (2020). Abaqus Users' Manual, Dassault Systems Simulia Corp., Providence, RI, USA
- [18] Topkaya C. (2007). Block shear failure of gusset plates with welded connections, *Engineering Structures*, Vol. 29, pp 11.