

## مطالعه آزمایشگاهی گسیختگی قالبی ورق‌های اتصال در اتصال جوشی

آرمین مقبلی اسکویی<sup>۱\*</sup>، جواد واثقی امیری<sup>۲</sup> و مهدی دهستانی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه گیلان

<sup>۲</sup> دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی

<sup>۳</sup> استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی

Rmin.moghbeli@yahoo.com

**چکیده:** اتصال اعضای کششی به ورق اتصال از اتصالات معمول در سازه‌هایی است که در بیشتر مواقع از جوش به منظور وسیله اتصال استفاده می‌شود. گسیختگی قالبی یکی از معیارهای شکست در این اتصالات می‌باشد. این مطالعه با هدف شناخت رفتار و بررسی مقاومت گسیختگی قالبی در اتصال جوشی اعضای کششی، ۶ نمونه اتصال تسمه کششی به ورق اتصال با وسیله اتصال جوشی را مورد آزمایش قرار داده‌است. پارامترهای آزمایش شامل ضخامت ورق اتصال، مساحت و شکل ناحیه همپوشانی اتصال، و طول صفحه کششی و برشی می‌باشد. در همه نمونه‌ها شکست حاکم گسیختگی قالبی مشاهده شده است. همچنین نتایج آزمایشات نشان داده‌اند که گسیختگی قالبی با پیدایش ترک در انتهای صفحه کششی به همراه تغییر شکل غیر الاستیک ویژه‌ای در صفحه برشی آغاز شده است. نمودار بار-جابجایی نمونه‌ها در طول آزمایش نشان می‌دهد ظرفیت گسیختگی قالبی که متناظر بیشترین بار در طول آزمایش می‌باشد، در اکثر نمونه‌ها از ترکیب گسیختگی کششی و تسلیم برشی حاصل گردیده است.

**کلمات کلیدی:** گسیختگی قالبی، ورق اتصال، بار، جابجایی، گسیختگی کششی.

## Experimental Study of Block Shear of Gusset Plates in Welded Connection

A.Moghbeli Oskoei, J.Vaseghi Amiri and M.Dehestani

**Abstract:** Block shear failure is one of the most common failure types of connections in steel structures which have been investigated by many researchers. In this study, block shear failure of welded connections subjected to a uniform tension field were experimentally investigated. For this purpose 6 specimens of welded connection of gusset plates to flat bar were developed. The mechanical behavior of the connection and pertaining failure types were identified. The tests parameters included the gusset plate thickness, the overlapped area, shear and tension plane of the gusset plates. Nonlinear load-displacement curve response for all specimens was presented. The failure load of block shear was assumed to be the maximum load reached during the loading history. For all Specimens the mode of failure was the block shear. Observation during the experiments showed that crack nucleation occurred at the maximum load (failure load) so that a single crack or two symmetrical cracks nucleated after the toe of the weld at the end of tension plane for all specimens and the load suddenly dropped after crack formed. Although, no shear fracture was observed at the time of the tension plane fracture in all of the tests, a significant deformation was observed at the shear plane because of yielding of this plane.

**Keywords:** Welded Connections, Gusset Plate, Block Shear, Load-Displacement.

**۱- مقدمه**

گسیختگی قالبی یکی از شکست‌هایی است که می‌تواند در طراحی هندسه‌های بسیاری از اتصالات سازه‌های فولادی با وسیله اتصال پیچ یا جوش حاکم شده و باعث خرابی اتصال شود. این شکست به صورت پارگی در اطراف وسیله اتصال شناخته شده که ناشی از ترکیب شکست کششی در صفحه عمود بر راستای بارگذاری و شکست برشی در یک یا دو صفحه موازی با راستای بارگذاری ایجاد می‌شود. در این حالت صفحه عمود بر راستای بار را که در معرض کشش بوده، صفحه کششی و صفحه موازی با راستای بار را که در معرض برشی بوده صفحه برشی می‌نامند. از اتصالات متداول در معرض این شکست می‌توان به اتصال نبشی و یا تسمه به ورق‌های اتصال و همچنین اتصال نبشی به جان تیرهای زبانه دار با وسایل اتصال پیچ و جوش اشاره کرد. اگرچه مکانیزم گسیختگی قالبی در اتصالات جوشی با اتصالات پیچی متفاوت است؛ روابط آیین نامه‌های مختلف در طراحی گسیختگی قالبی بر مبنای شواهد فیزیکی در اتصالات پیچی بوده و تفاوت شکست در این دو را مشخص نکرده‌اند.

در سال‌های اخیر محققین، مطالعات بسیاری با انجام تست‌های آزمایشگاهی و مطالعه اجزای محدودی در مورد این شکست انجام داده‌اند که از جمله آن می‌توان به مطالعات سنس [۱] و تبکایا [۲] که به بررسی گسیختگی قالبی اتصال جوشی ورق اتصال تحت کشش پرداخته‌اند، یاد کرد تبکایا [۲] با انجام ۱۱ تست آزمایشگاهی به بررسی گسیختگی قالبی ورق متصل به ورق اتصال با اتصال جوش گوشه پرداخته و تأثیر هندسه اتصال و دو نوع آرایش جوش را بر گسیختگی قالبی نشان داده است. مطالعات که نتیجه این حاکم شدن گسیختگی قالبی در اتصالات جوشی است. همچنین در مطالعه مذکور از تحلیل اجزاء محدود غیرخطی نیز برای پیش‌بینی ظرفیت گسیختگی قالبی نمونه‌ها استفاده شده است. در مطالعه او به دلیل محدود بودن نمونه‌های ساخته شده، بازه وسیعی از نمونه‌ها که می‌توانست تأثیر پارامترهای اثرگذار را روشن نماید، آزمایش نشده‌است. از دیگر مطالعات در این زمینه می‌توان به مطالعه انجام شده توسط اوسترهف و درایور [۳] در مورد تأثیر هندسه اتصال بر گسیختگی قالبی اتصال جوشی تسمه متصل به جان تیر I شکل اشاره کرد که با انجام ۴ تست آزمایشگاهی و مدل‌های اجزاء محدود به بررسی این شکست پرداخته است. آنها کمبود نمونه‌های آزمایشگاهی را با مدل سازی اجزاء محدود اعتبارسنجی شده و با مقایسه با نتایج آزمایشگاهی و ساخت ۳۰ مدل اجزاء

محدود برطرف نموده و بازه وسیعی از هندسه‌های مختلف را بررسی کرده‌اند. از دیگر اعضایی که در معرض گسیختگی قالبی هستند می‌توان به جان تیرهای زبانه دار متصل به نبشی اشاره نمود که مطالعات یام و همکاران [۴ و ۵] از مطالعات خوب در زمینه اتصال جوشی این نوع اتصال می‌باشد. آنها در دو مطالعه آزمایشگاهی و اجزایی به بررسی گسیختگی قالبی پرداخته و نشان دادند گسیختگی قالبی می‌تواند مود شکست حاکم در این اتصال باشد. دیگر مطالعه در این زمینه، مطالعه انجام شده توسط یو و همکاران [۶] بر روی تیرهای زبانه دار بوده که با انجام ۱۲ تست آزمایشگاهی با مقیاس کامل و بهره‌گیری از اجزاء محدود در تخمین سختی دورانی، تأثیر سختی دورانی اتصال و نسبت طول به عرض سطح نشیمن ورق متصل به جان تیر را بر ظرفیت گسیختگی قالبی بررسی نموده و نشان داده‌اند که با افزایش هر کدام از پارامترهای مذکور ظرفیت گسیختگی قالبی افزایش می‌یابد.

مطالعه جاری به منظور ایجاد شواهد فیزیکی برای شناخت بهتر از مکانیزم گسیختگی قالبی در اتصالات جوشی با انجام تست‌های آزمایشگاهی به بررسی این شکست در مورد اتصال جوشی ورق اتصال به بادبند تحت کشش پرداخته است. در ادامه مراحل انجام آزمایشات ارائه و نتایج حاصل از آنها شرح و بررسی خواهد شد.

**۲- مدل‌سازی آزمایشگاهی****۲-۱- نمونه‌های آزمایشگاهی**

در این مطالعه ۶ نمونه اتصال جوشی تسمه کششی به ورق اتصال، مورد آزمایش قرار گرفته است. نمونه‌ها بر اساس پارامترهای ضخامت ورق اتصال، شکل، مساحت، عرض و طول ناحیه نشیمن اتصال ساخته شده و برای هر پارامتر ۲ نمونه در نظر گرفته شده‌است. نمونه‌های آزمایشگاهی شامل سه قسمت ورق اتصال، بادبند و جوش گوشه می‌باشند. شکل ۱ تیپ نمونه‌های آزمایشگاهی را به همراه جزئیات نشان می‌دهد.

مشخصات ابعاد نمونه‌های آزمایشگاهی بر اساس شکل ۱ در جدول ۱ بیان گردیده‌است که در ادامه، نمونه‌ها به ترتیب موقعیت در جدول و پارامتر مورد نظر معرفی می‌شوند. ردیف اول مربوط به نمونه با ابعاد  $۶۰ \times ۶۰$  میلی‌متر مربع برای سطح همپوشانی تسمه و ورق اتصال و ضخامت ۴ میلی‌متر برای ورق اتصال می‌باشد که به‌عنوان نمونه پایه در نظر گرفته شده است. برای نمایش تأثیر افزایش مساحت ناحیه همپوشانی اتصال نمونه‌های با ابعاد  $۸۰ \times ۸۰$  و  $۱۰۰ \times ۶۰$

عرض کافی مقاومت کششی شده انتخاب، و عرض آنها در ابتدا (ناحیه متصل به ورق اتصال) بر اساس عرض‌های مورد بررسی گسیختگی قالبی، متفاوت در نظر گرفته شده‌اند. طول آزاد یا طول متصل نشده تسمه‌ها در همه نمونه‌ها ۱۵۰ میلی‌متر انتخاب شده است.

در هر نمونه به منظور اعمال نیروی کششی از دو تسمه در دو طرف ورق اتصال استفاده شده و ابعاد همه ورق‌های اتصال  $500 \times 350$  می‌باشد. طول نمونه‌ها طوری انتخاب شده که محل شروع گسیختگی، فاصله کافی تا انتهای ورق اتصال را داشته و اتصال انتهایی ورق، سختی اضافی در اطراف جوش ایجاد نکند. شکل ۲ با نگاهی به مجموعه آزمایش، نمونه ۲ را قبل از آزمایش نشان می‌دهد. اتصال تسمه‌ها به ورق اتصال با استفاده از جوش گوشه بوده و از دستگاه  $CO_2$  برای عملیات جوشکاری استفاده شده است. شکل ۳ اتصال جوشی تسمه به ورق اتصال را نشان می‌دهد.

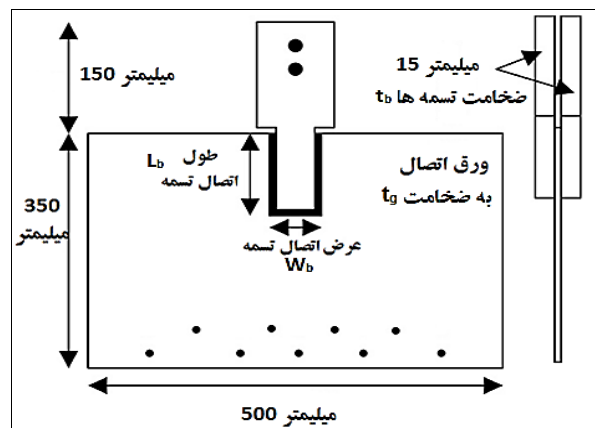


شکل ۲: فک‌های کششی و نمونه ۲ قبل از آزمایش

میلی‌متر مربع (سطح همپوشانی) با مساحت یکسان و شکل ناحیه همپوشانی مربعی و مستطیلی انتخاب و به ترتیب در ردیف دوم و سوم نشان داده شده‌اند.

نمونه‌های دارای ابعاد همپوشانی  $60 \times 120$  و  $120 \times 60$  میلی‌متر مربع نیز به ترتیب برای بررسی تأثیر طول صفحه کششی و طول صفحه برشی، انتخاب و در ردیف‌های چهارم و پنجم قرار داده شده‌اند. همچنین برای بررسی تأثیر ضخامت ورق اتصال، نمونه با ابعاد  $60 \times 60$  میلی‌متر مربع برای سطح همپوشانی تسمه و ورق اتصال و ضخامت ۶ میلی‌متر برای ورق اتصال استفاده و در ردیف آخر نشان داده شده است.

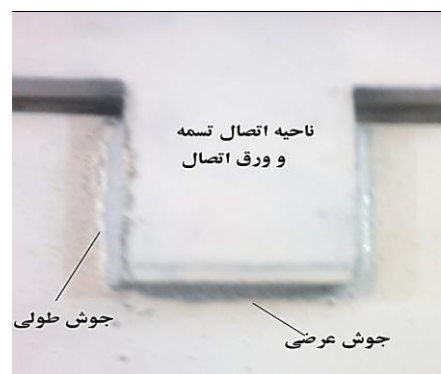
طراحی کششی نمونه‌ها براساس روابط طراحی کششی مبحث دهم مقررات ملی [۷] که در زیر معرفی شده، انجام گرفته است. برای همه تسمه‌ها ضخامت ۱۵ میلی‌متر با تأمین مقاومت کششی لازم، در نظر گرفته شده است. همچنین همان طور که از شکل ۱ نیز مشاهده می‌شود عرض تسمه‌ها در انتها (ناحیه متصل به فک) دارای عرض ۲۰۰ میلی‌متر برای تأمین



شکل ۱: نقشه تیپ نمونه‌های آزمایشگاهی

جدول ۱: مشخصات ابعاد نمونه‌ها

نوع	سطح نشیمن		نسبت	ورق اتصال		ضخامت ورق اتصال	ضخامت بادی
	$W_b$	$L_b$		$W_g/L_g$	$W_g$		
۱	۶۰	۶۰	۱	۵۰۰	۳۵۰	۴	۱۵
۲	۸۰	۸۰	۱	۵۰۰	۳۵۰	۴	۱۵
۳	۱۰۰	۶۴	۱	۵۰۰	۳۵۰	۴	۱۵
۴	۱۲۰	۶۰	۱	۵۰۰	۳۵۰	۴	۱۵
۵	۶۰	۱۲۰	۱	۵۰۰	۳۵۰	۴	۱۵
۶	۶۰	۶۰	۱	۵۰۰	۳۵۰	۶	۱۵



شکل ۳: اتصال جوشی تسمه به ورق اتصال

### ۳- بیان و ارزیابی نتایج آزمایشگاهی

در این قسمت نتایج مشاهده شده در تست‌های کشش انجام شده بر روی ۶ نمونه اتصال جوشی ورق اتصال به تسمه کششی ارائه می‌شود. برای همه نمونه‌ها آزمایش تا پارگی کامل صفحه برشی ادامه یافته و حالت شکست برای تمامی نمونه‌ها گسیختگی قالبی مشاهده شده است. در طول آزمایش بار وارد به نمونه‌ها و فاصله فک‌های کششی توسط دستگاه ثبت و به صورت نمودار ارائه شده است. در حالی که رفتار نمونه‌ها مشابه مشاهده شده است؛ در این قسمت به منظور بررسی پاسخ بار-جابجایی چند نمونه بیان شده است. شکل ۴ و ۵ به ترتیب نمودار بار-جابجایی برای نمونه‌های ۱ و ۵، ۲ و ۳ را نشان می‌دهد.

بار شکست متناظر بیشترین بار در نمودار بار-جابجایی به دست آمده در طول آزمایش در نظر گرفته شده است. جدول ۲ بار شکست نمونه‌ها را ارائه می‌دهد. در ادامه به توضیح قسمت‌های مختلف نمودار بار-جابجایی نمونه‌ها به همراه رفتار متناظر آنها در طول آزمایش پرداخته می‌شود.

جدول ۲: بار شکست نمونه‌های آزمایشگاهی

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
بارشکست (kN)	۳۰۰	۳۹۱	۳۵۰	۴۲۴	۳۹۸.۵	۴۵۰

ابتدای هر تست پیچ‌های انتهایی نمونه‌ها دچار لغزش شده که این رفتار در قسمت ابتدایی نمودارها مشاهده می‌شود. پس از این ناحیه، پاسخ بار-جابجایی در تمامی نمونه‌ها به صورت خطی بوده و تا شروع تسلیم مشاهده شده در ناحیه اطراف اتصال جوش در مصالح ورق اتصال ادامه می‌یابد. گفتنی است که طراحی تسمه‌ها، فک‌های کششی و همچنین پیچ‌های اتصال فک و ورق‌ها با در نظر داشتن عدم رسیدن به رفتار غیرخطی مصالح آنها انجام شده است. نمودار بار-جابجایی نمونه‌ها با شروع جاری شدگی مصالح ورق اتصال، غیر خطی شده و این ناحیه تا پیدایش ترک در ورق اتصال ادامه می‌یابد. مشاهدات رفتار نمونه‌ها در طول آزمایش نشان می‌دهد، گسیختگی قالبی در همه نمونه‌ها با پیدایش یک ترک و یا دو ترک متقارن در ورق اتصال، در نزدیکی انتهای صفحه کششی و پس از

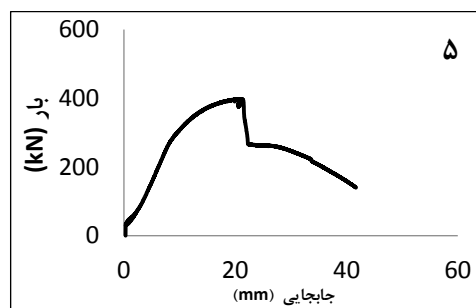
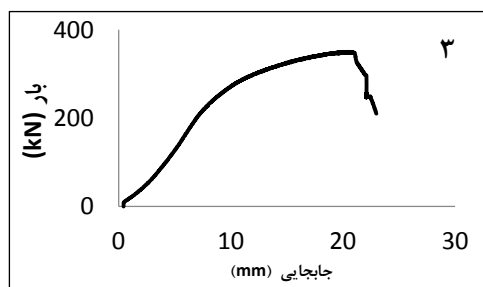
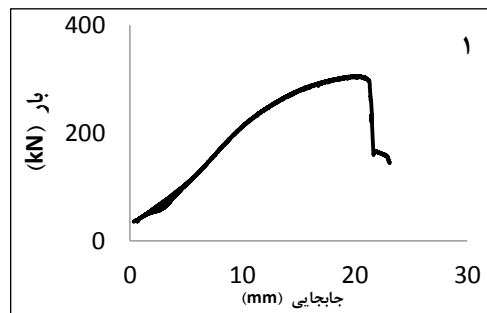
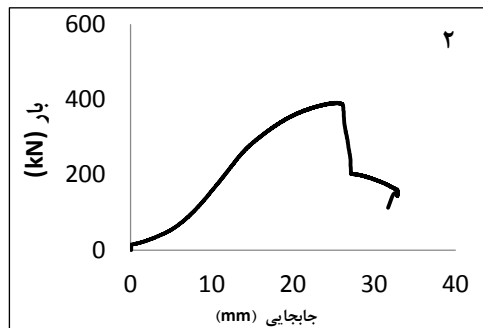
ساق جوش در همه نمونه‌ها ۷ میلی‌متر در نظر گرفته و با توجه به شکل ۳ به صورت جوش طولی و عرضی، تمامی دور ناحیه نشیمن جوش شده است. برای هر یک از ورق‌های اتصال، دو ورق تقویتی به ابعاد ۴ یا ۶ میلی‌متر به منظور ایجاد ضخامت کافی در مقاومت لهدگی ورق‌های اتصال در محل پیچ‌ها در نظر گرفته شده است. سوراخ کاری در همه ورق‌ها با مته و با در نظر داشتن ۲ میلی‌متر برای خطای احتمالی نصب انجام گرفته است.

### ۲-۲- مجموعه آزمایش

به منظور اعمال نیروی کششی از دستگاه یونیورسال به ظرفیت ۶۰ تن استفاده شده است. این دستگاه دارای دو دهانه کششی بوده که با ایجاد فاصله بین آنها نیروی کششی بر نمونه موجود بین دو دهانه اعمال می‌شود. همچنین این دستگاه قابلیت محاسبه و نمایش فاصله اعمالی و نیروی کششی ایجاد شده را در هر لحظه دارد. دهانه‌های این دستگاه یونیورسال مورد استفاده محدود به کشش مقاطع دایره‌ای بوده و به دلیل این محدودیت در کشش ورق‌های موجود در نمونه‌های آزمایشگاهی، فک‌های کششی ویژه‌ای برای انجام آزمایشات مورد نظر طراحی گردید. به منظور ایجاد دهانه لازم برای کشش ورق‌های اتصال و تسمه‌ها از دو جفت نبشی بال مساوی استفاده شده و همچنین برای ایجاد ارتباط بین نبشی‌ها به دهانه‌های دستگاه، از دو میله توپر به قطر ۵۵ میلی‌متر بهره برده شد. میله‌های توپر انتهایی با اتصال جوشی و با تعداد زیادی سخت کننده به دهانه فک‌ها متصل گردیدند. سخت کننده‌ها نیز برای ایجاد طول جوش کافی و کاهش تمرکز تنش در اتصال میله به فک استفاده شده است. شکل ۲ فک‌های کششی معرفی شده را نشان می‌دهد. برای اتصال ورق‌ها و تسمه‌ها به دهانه فک‌ها مطابق شکل ۲ از وسیله اتصال پیچ استفاده شده است. تعداد ۹ پیچ به قطر ۲۰ میلی‌متر برای اتصال ورق اتصال به فک پایینی و ۲ پیچ به قطر ۳۰ میلی‌متر برای اتصال تسمه به فک بالایی در نظر گرفته شد. تمام پیچ‌ها از جنس ۸.۸ پر مقاومت بوده و تمام سوراخ کاری‌ها نیز با مته و با در نظر گرفتن ۲ میلی‌متر خطای احتمالی می‌باشد.

پس از پیدایش ترک دچار افت شدیدی گردیده و بار متناظر این لحظه در اکثر نمونه‌ها به‌عنوان بار شکست در نظر گرفته شده‌است.

ساق جوش آغاز شده است. شکل ۶ لحظه آغاز شکست و پیدایش ترک را به‌ترتیب در دو حالت یک ترک و دو ترک متقارن نشان می‌دهد. نمودار بار-جابجایی تمام نمونه‌ها



شکل ۴: نمودار بار-جابجایی آزمایشگاهی نمونه‌ها

گسیختگی صفحه کششی و مقاومت تسلیم صفحه برشی دانست.

با توجه به پیدایش گسیختگی در صفحه کششی، زانویی شدن مصالح این صفحه تنها در راستای ضخامت مشاهده شده‌است. در حالی که در اتصالات پیچی همراه با گسیختگی در صفحه کششی، زانویی شدن در راستای ضخامت و در راستای عمود بر بار رخ داده است؛ عدم زانویی شدن در دو راستای دیگر در اتصال جوشی را می‌توان گویای حضور قید در راستای بار و همچنین عمود بر بار در صفحه کششی دانست. گفتنی است که این نکته در مطالعه اجزای محدودی در مطالعه تپکاپا [۲] با بررسی تنش کششی موجود در نقاط صفحه کششی بررسی و تأیید شد.

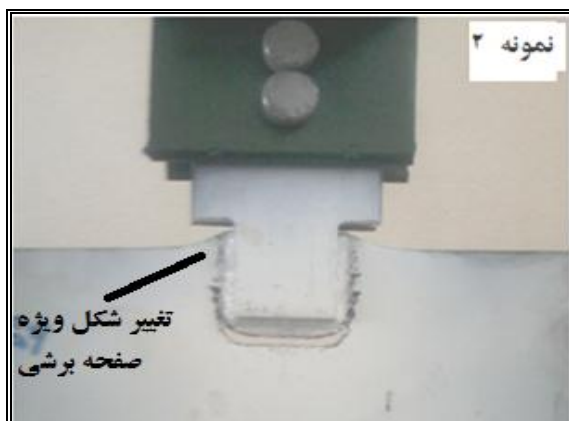
همچنین مشاهده شکل ۶ (نمونه ۱) و ۷ (نمونه ۲ و ۶) نشان می‌دهد محل شروع ترک به فاصله چند میلیمتری از انتهای ساق جوش تشکیل شده‌است. این فاصله در نمونه های ۱، ۲، ۴ و ۶ دیده شده و برای باقی نمونه‌ها در حدود

بررسی آغاز شکست در نمونه‌ها نشان می‌دهد که با توجه به یکسان بودن محل پیدایش ترک در انتهای صفحه کششی برای همه نمونه‌ها، مقاوت صفحات کششی و برشی که به طول این صفحات وابسته می‌باشد، در محل شروع ترک بی تأثیر می‌باشد. هرچند در لحظه شکست صفحه کششی به تنش نهایی می‌رسد (با توجه به گسیختگی مصالح این صفحه)، در صفحه برشی تغییر شکل غیر الاستیک مشاهده شده و بخش زیادی از این صفحه به تسلیم رسیده است. از پدیدگی رنگ سفید در ناحیه اطراف اتصال برای بیان تغییر شکل غیرالاستیک این ناحیه استفاده شد. شکل ۷ گسیختگی صفحه کششی و تسلیم در صفحه برشی نمونه های ۲ و ۶ را نشان می‌دهد.

وضعیت مصالح صفحات کششی و برشی در لحظه آغاز گسیختگی قالبی و همچنین افت شدید ظرفیت کششی اتصال در این لحظه، مقاوت گسیختگی قالبی در اتصال جوشی مورد بررسی را می‌توان ناشی از ترکیب مقاوت

این ناحیه را فاصله ۲-۵ میلی متری از انتهای ساق جوش در نمونه‌های خود بیان نموده‌است؛ اما در مشاهدات آزمایشگاهی در مطالعه جاری، این فاصله از بین نمونه‌های ذکر شده تنها برای نمونه‌های ۴ و ۶ قابل ملاحظه بوده است.

صفر مشاهده شد؛ که در واقع ترک در انتهای ساق جوش رخ داده است. این فاصله به دلیل سخت شدگی ورق اتصال در ناحیه مجاور جوش ناشی از گرمای زیاد جوشکاری می‌باشد. در آزمایشات مشابه انجام شده در مطالعه تپکایا [۲] نیز این فاصله مشاهده گردیده‌است. او با اندازه گیری دقیق



شکل ۷: نمونه‌های ۲ و ۶ در لحظه شکست

شکل ۶: آغاز شکست با پیدایش یک ترک (نمونه ۱) و دو ترک متقارن (نمونه ۵)



شکل ۸: پیشروی ترک در صفحه برشی (نمونه ۳) و پیشروی ترک در صفحه کششی (نمونه ۴)

#### ۴- نتیجه گیری

- از میان شکست‌های اتصالات کششی از جمله تسلیم مقطع کامل و گسیختگی مقطع خالص عضو کششی و گسیختگی قالبی، حالت شکست در تمام نمونه‌های آزمایشگاهی در این گسیختگی قالبی در ورق اتصال بوده که نشان می‌دهد این شکست می‌تواند حالت شکست پتانسیل برای اتصالات جوشی در معرض کشش باشد.

- گسیختگی قالبی در همه نمونه‌ها با پیدایش یک ترک یا دو ترک متقارن در انتهای صفحه کششی آغاز شده و طول صفحات کششی و برشی در محل پیدایش ترک بی‌تأثیر می‌باشد. همچنین در اکثر نمونه‌ها ترک (ترک‌ها) پس از پیدایش در صفحه کششی گسترش می‌یابد.

- هرچند در لحظه شکست صفحه کششی دچار گسیختگی می‌شود، صفحه برشی به تسلیم قابل ملاحظه می‌رسد.

- بررسی ظرفیت گسیختگی به دست آمده از نمودار بار-جابجایی نمونه‌ها در لحظه شکست نشان می‌دهد، در اکثر نمونه‌ها ظرفیت اتصال متناظر نیروی پیدایش ترک در صفحه کششی می‌باشد.

- در نمونه‌هایی که طول صفحه برشی نسبت به صفحه کششی قابل توجه باشد، ظرفیت گسیختگی قالبی ناشی از مجموع گسیختگی صفحه کششی و تسلیم صفحه برشی تخمین کمتری از ظرفیت گسیختگی قالبی اتصال می‌باشد.

- در لحظه آغاز گسیختگی در صفحه کششی زانویی شدن تنها در راستای ضخامت در این صفحه دیده شده که نشان دهنده حضور قید در دو راستای دیگر در صفحه کششی می‌باشد.

#### مراجع

- [1] Jensen AP. Limit Analysis of gusset plates in steel single-member welded connections. Journal of Constructional Steel Research; Vol. 62, No.2 pp.144-50, 2006.
- [2] Topkaya C. Block shear failure of gusset plates with welded connections. Engineering Structures, Vol. 29, No. 1, pp. 11-20, 2007.
- [3] Oosterhof Steven A, Driver Robert G. Effects of connection geometry on block shear failure of welded lap plate connections. Journal of constructional steel Research, Vol 22, No.3, pp. 12-25, 2010.
- [4] Yam MCh, Zhong YC, Lam ACC, Lu VP. An investigation of the block shear strength of coped beams with a welded clip angle connection \_part I: Experimental study. Journal of Constructional Steel Research; Vol. 63, No. 1, pp. 96-115, 2007.

به جز نمونه ۵، نیرویی که در آن نمودار بار-جابجایی دچار افت می‌شود، بیشترین نیرو در نمودار بوده و به عنوان بار گسیختگی نمونه ثبت شده است. بررسی نمودار بار-جابجایی نمونه ۵ نشان می‌دهد که برای این نمونه با داشتن طول برشی زیاد (با مشاهده به جدول ۱) نمودار پس از افت بسیار ناچیز در لحظه پیدایش ترک در نیروی معادل ۳۸۵ کیلونیوتن، مجدداً صعود کرده و به نیروی ۳۹۸.۵ کیلونیوتن رسیده و این نیرو به عنوان ظرفیت شکست این نمونه ثبت می‌شود. این نکته نشان می‌دهد در مواردی که طول صفحه برشی نسبت به صفحه کششی قابل توجه باشد، ظرفیت گسیختگی به دست آمده ناشی از مجموع گسیختگی صفحه کششی و تسلیم صفحه برشی تخمین کمتری از ظرفیت گسیختگی قالبی اتصال بوده و ظرفیت واقعی اتصال را می‌توان ناشی از مقاومت نهایی صفحه برشی دانست. هرچند که نکته فوق نیاز به مشاهده نتایج در نمونه‌های بیشتری دارد.

ناحیه تقریباً قائم از شروع افت تا شروع ناحیه یکنواخت پس از آن در نمودار بار-جابجایی نمونه‌های شکل ۴ و ۵ نشان دهنده پیشروی ترک در صفحه و پارگی کامل آن صفحه می‌باشد. در همه نمونه‌ها به جز نمونه ۳ پس از پیدایش ترک در صفحه کششی، ترک (ترک‌ها) به سمت پارگی کامل صفحه کششی پیش رفته و تنها در مورد نمونه ۳ ترک‌ها به سمت پارگی کامل صفحه برشی رشد کرده‌اند. شکل ۸ پارگی کامل صفحه برشی و کششی را به ترتیب برای نمونه‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد.

نمونه ۳ با توجه به پارگی کامل صفحه برشی پس از پیدایش ترک، مقاومت این صفحه به تنهایی ظرفیت شکست را تشکیل نداده؛ بلکه مشاهده نمودار بار-جابجایی این نمونه در شکل ۵ نشان می‌دهد ظرفیت شکست در این مورد نیز ناشی از ترکیب مقاومت صفحه کششی و برشی می‌باشد. پس از پارگی کامل صفحه کششی، صفحه برشی به تنهایی در مقابل بار وارده مقاومت کرده که با ناحیه یکنواخت پس از افت در نمودار بار-جابجایی نشان داده می‌شود. در نمونه ۵ به دلیل داشتن طول برشی زیاد (دو برابر طول کشش)، صفحه برشی به تنهایی مقاومت زیادی در برابر گسیختگی داشته در حالی که با مشاهده نمودارهای بار-جابجایی نشان داده شده در شکل ۴ و ۵ مقاومت صفحه برشی به تنهایی برای نمونه‌های دیگر مقدار زیادی نمی‌باشد.

[6] Wei Fang, Yam Michael C.H, Chung K.F, Grondin Gilbert Y. Tests on block shear of coped beams with a welded end connection. *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 66, pp.1398-1410, **2010**.

[۷] مبحث دهم از مقررات ملی ساختمان ایران، وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت امور مسکن و ساختمان، ۱۳۸۷.

[5] Yam MCH, Zhong YC, Lam ACC, Iu VP. An investigation of the block shear strength of coped beams with a welded clip angle connection-part II: numerical study. *Journal of Constructional Steel Research*, Vol.63, No.1, pp.116-34, **2007**.