

بررسی عددی رفتار اتصال نبشی بالا و پایین پیچی و جوشی در خرابی پیشروندهی سازه‌های فولادی

محمدعلی هادیان فرد^{۱*}، محبوبه نامجو^۲

۱-دانشیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران
۲-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

چکیده

پس از خرابی یک ستون در سازه بدلیل بارهای غیر عادی، عملکرد نامطلوب و خرابی در اتصالات تیرهای متصل به بالای این ستون، می‌تواند باعث خرابی موضعی سقف و متعاقباً بروز خرابی پیشرونده در سازه گردد. بهترین ایده برای مقاوم‌سازی سازه در برابر این پدیده مقاوم کردن اتصالات می‌باشد. مقاومت و انعطاف‌پذیری اتصالات در دوران‌های زیاد موجب گسترش نیروهای محوری در تیر و تشکیل عملکرد زنجیری می‌شود. این عملکرد می‌تواند تا حدود زیادی مانع خرابی سازه در اثر حذف ستون گردد. در این مقاله عملکرد اتصال متداول نبشی بالا و پایین پیچی و جوشی فولادی به صورت عددی بررسی شده‌است. کلیه اجزای اتصالات در نرم افزار اجزای محدود مدل شده است. سازه مدل شده تحت جابجائی قائم در محل ستون حذف شده، مورد تحلیل غیرخطی قرار گرفته است و نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی صحت سنجی شده است. همچنین، رفتار، مودهای شکست، نحوه توسعه عملکرد زنجیری و اثر پارامترهای مختلف بر رفتار اتصال مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج حاکی از آن است که اتصال‌های پیچی از عملکرد بهتری نسبت به اتصال‌های جوشی برخوردار می‌باشند. همچنین در اتصالات جوشی با افزایش ضخامت نبشی‌ها و افزایش طول بال نبشی در محل اتصال به ستون، عملکرد زنجیری و مقاومت اتصال در مقابل خرابی پیشرونده بهبود می‌یابد، اما اضافه کردن ورق سخت کننده در وسط نبشی نشیمن در تمام حالات باعث افزایش ظرفیت اتصال نمی‌گردد.

کلمات کلیدی: خرابی پیشرونده، نبشی بالا و پایین، اتصالات پیچی، اتصالات جوشی، عملکرد زنجیری، حذف ستون

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
10.22065/JSCE.2017.98340.1322	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
doi: 10.22065/JSCE.2017.98340.1322	۱۳۹۸/۰۴/۰۱	۱۳۹۶/۰۹/۱۲	۱۳۹۶/۰۹/۱۲	۱۳۹۶/۰۹/۰۶	۱۳۹۶/۰۶/۲۴
محمدعلی هادیان فرد			*نویسنده مسئول:		
hadianfard@sutech.ac.ir			پست الکترونیکی:		

Numerical Investigation of the Behaviour of Bolted and Welded Top and Seat Angle Connection in Progressive Collapse of Steel Structures

Mohammad Ali Hadianfard^{1*}, Mahboobe Namjoo²

1- Associate Professor, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran

2-M.Sc. Student in Earthquake Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran

ABSTRACT

After failure of a column in structure by an abnormal loading, undesirable performance and damage of connections of the beams connected to the top of this column, can lead to the local failure of floor and in turn result in progressive collapse in the structure. Accordingly, the best method for rehabilitation of the structure against this incident is the strengthening of the connections. The strength and flexibility of the connections during the large rotations result in spreading the axial forces in beams and forming the catenary action. This action can greatly prevent structural failure due to the column removal. In this paper, the performance of prevalent bolted and welded top and seat angle steel connections is evaluated numerically. All parts of the connections are modeled in finite element software. The modeled structure is analyzed nonlinearly under the vertical displacement in the location of removed column, and its results have been verified with experimental results. In addition, the behavior, failure modes, how the catenary action develops and the effects of different parameters on connection behavior are investigated. The results indicated that bolted connections have better performance than welded connections. Also, in welded connections, increasing the thickness of the angles and increasing the length of the connected angle leg to column, improve the catenary action and the resistance of the connections against progressive collapse. But adding the stiffener plate in the middle of the seat angle does not increase the connection capacity in all cases.

ARTICLE INFO

Received: 15/09/2017

Revised: 27/11/2017

Accepted: 03/12/2017

Keywords:

Progressive collapse,
Top and seat angle,
Bolted connection,
Welded connection,
Catenary action,
Column removal.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

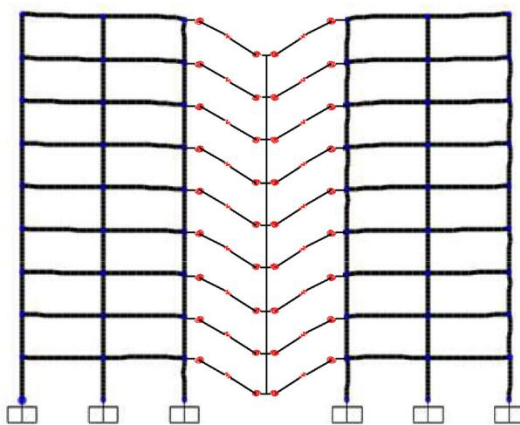
doi: 10.22065/JSCE.2017.98340.1322

*Corresponding author: Mohammad Ali Hadianfard

Email address: hadianfard@sutech.ac.ir

۱- مقدمه

هنگامی که یک ستون از ساختمان تحت اثر بارگذاری غیر عادی مانند انفجار یا ضربه دچار خرابی می‌شود، در سقف فوقانی ستون حذف شده، در تیرهای متصل شده در دو طرف ستون حذف شده، شرایط دهانه دویل به وجود می‌آید و تیرهای دو دهانه مجاور ستون مانند یک تیر با دهانه بزرگتر عمل می‌نمایند. در مراحل ابتدایی پس از حذف ستون، عامل مقاومت تیرها در مقابل بارهای ثقلی، ظرفیت خمشی آنها می‌باشد، با افزایش تغییر شکل‌ها و بوجود آمدن دوران‌های غیرارجاعی، تیرها رفتاری شبیه به کابل از خود نشان می‌دهند و نیروهای محوری گسترده‌ای در تیرها و اتصالات آنها گسترش می‌یابد [۱]. این عملکرد جدید تیرها که شبیه به کابل‌های کششی می‌باشد و می‌تواند تا حدود زیادی خرابی سازه تحت اثر حذف ستون را به تعویق بیندازد، به عملکرد زنجیری^۱ مشهور است. در شکل ۱ عملکرد زنجیری در یک قاب پس از حذف یکی از ستون‌های میانی شکل گیری عملکرد زنجیری، وجود مقاومت کافی در اتصالات تیر به ستون و عدم گسیختگی آنها می‌باشد.



شکل ۱: عملکرد زنجیری در یک قاب پس از حذف یکی از ستون‌های میانی

بررسی اثر بارهای غیرعادی بر اتصالات سازه‌های فولادی در سال‌های اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است. با این حال تعداد و نوع اتصالات بررسی شده به دلیل هزینه‌های بالای آزمایشات و پیچیدگی‌های موجود در روش‌های عددی، بسیار محدود است. پس از فاجعه مرکز تجارت جهانی [۲]، بعضی از محققین سالم بودن اتصال را به عنوان عاملی اصلی و کلیدی در تأمین سلامت سازه تحت فرآیند خرابی پیشرونده در نظر گرفته و مطالعات گسترده‌ای انجام دادند. در سال ۲۰۰۲، پوپوف و همکاران [۳] آزمایشاتی بر روی نمونه‌های اتصال سپری انجام دادند که نتایج آن نشان می‌دهد که این اتصال رفتاری شکل‌پذیر در برابر انفجار داشته و توانسته است بار وارد شده را با حفظ مسیر انتقال بار تحمل نماید. در سال ۲۰۰۹، هین و کرات هامر [۴]، رفتار اتصالات تحت بارگذاری انفجار و ضربه را مورد بررسی قرار دادند. سختی، مقاومت نهایی و شکل‌پذیری پارامترهایی بودند که در این تحقیق به صورت نمودارهای بار-ضربه مورد بررسی قرار گرفتند. در این تحقیق تنها اتصال صلب تیر به ستون با استفاده از ورق اتصال بال تیر مورد بررسی قرار گرفت، همچنین در همین سال لی و همکاران [۵] در مطالعه‌ای دو روش ساده و دقیق را برای تحلیل خرابی پیشرونده قاب‌های فولادی با اتصالات جوشی بررسی کردند.

هادیان‌فرد و واثق [۶] در پژوهشی، سازه‌های فولادی طراحی شده به صورت قاب خمشی متوسط با سطوح ارتفاعی متفاوت، در مناطق با لرزه‌خیزی متوسط و خیلی زیاد در شرایط ساختمانی ایران را مطالعه نمودند. در مطالعه ایشان از دو روش استاتیکی خطی و غیرخطی استفاده گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که به طور کلی برای سازه‌های طراحی شده با خطر لرزه‌خیزی بالاتر، ظرفیت مقاومت در برابر خرابی پیشرونده بیشتر است و در سازه‌های با ارتفاع کوتاه، ظرفیت بازتوزیع نیروهای اعضای منهدم شده به اندازه کافی وجود ندارد.

¹ Catenary action

بنابراین، پتانسیل خرابی پیشرونده با کاهش ارتفاع سازه افزایش می‌یابد همچنین واثق و همکاران [۷] در بررسی دیگری، مشاهده کردند که جهت تیرریزی و الگوی بار ثقلی دو پارامتر مؤثر هستند و بهتر است از الگوهای بار ثقلی یکنواخت پرهیز شود. در سال ۲۰۱۱، پژوهش‌هایی توسط یانگ و تان [۸]، انجام شد که در آن به آنالیز غیرخطی اتصالات فولادی پیچی در خرابی پیشرونده پرداختند. این محققین شش اتصال فولادی را به صورت آزمایشگاهی و همچنین به وسیله نرم‌افزار اجزای محدود بررسی کردند و نتایج استاتیکی و دینامیکی و آزمایشگاهی را با هم مقایسه نمودند. لیو و همکاران [۹] نیز در سال ۲۰۱۳ رفتار دینامیکی اتصال پیچی تیر به ستون توسط نبشی جان را تحت اثر حذف ناگهانی ستون مورد بررسی قرار دادند. در سال ۲۰۱۵، لی و همکاران [۱۰]، تاثیر چینش پیچ-ها در جان تیر بر رفتار اتصالات خمشی در عملکرد زنجیری را مورد بررسی قرار دادند. این محققین آزمایشاتی با دو نوع چینش پیچ در یک ردیف ۴ تایی و در دو ردیف ۲ تایی انجام دادند و نتایج نشان داد که هر دو نوع چینش رفتار مؤثری در توسعه عملکرد زنجیری در فاز اولیه از خود نشان می‌دهند، اما اتصال با یک ردیف پیچ به طور نسبی دارای مزیت ذاتی بهتری نسبت به اتصال با چینش دو ردیف پیچ می‌باشد. در سال ۲۰۱۳، مجدداً یانگ و تان [۱۱]، آزمون‌های آزمایشگاهی از انواع مختلف اتصال تیر به ستون فولادی تحت یک سناریوی حذف ستون را مورد بررسی قرار دادند. هدف اصلی تحقیق یانگ و تان، بررسی آزمایشگاهی رفتار اتصالات پیچی تیر به ستون، از جمله حالت شکست و همچنین توسعه تغییر شکل‌ها و نیروها در تیر بوده است. در سال ۲۰۱۷ هوائی و بیات [۱۲] با استفاده از روش اجزای محدود، خرابی پیشرونده ناشی از اثر انفجار در ساختمان‌های بتن آرمه و روش‌های مقاوم‌سازی ستونها را مورد مطالعه قرار دادند.

با توجه به پرهزینه بودن انجام آزمایش بر روی نمونه‌های اتصالات، در مطالعات آزمایشگاهی پیشین نمونه‌های محدودی ساخته و آزمایش شده‌اند. همچنین در مطالعات آزمایشگاهی به دلیل دشواری استخراج داده‌ها، فقط به بررسی پاسخ کلی اتصالات پرداخته شده است و اثر پارامترهای مختلف بر روی نتایج بررسی نگردیده است. در ضمن عمده مطالعات آزمایشگاهی و عددی انجام شده در قبل در خصوص سازه‌های بتنی یا سازه‌های فولادی با اتصالات پیچی می‌باشد و کمتر به سازه‌های فولادی با اتصالات جوشی که در ایران بسیار متداول است پرداخته شده است. بنابراین نیاز است نمونه‌های بیشتری با تغییر پارامترهای مؤثر، به صورت عددی شبیه‌سازی و تحلیل گردد و اثر این پارامترها در عملکرد اتصال بررسی شود. یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که در نوع رفتار اتصال بسیار تأثیرگذار است، جنس وسایل اتصال می‌باشد. در این تحقیق، ابتدا اتصال پیچی نبشی بالا و پایین با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس^۲ [۱۳] شبیه‌سازی و تحلیل شده و نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی یانگ و تان [۱۱]، مقایسه شده است. سپس اتصال نبشی بالا و پایین به صورت جوشی شبیه‌سازی شده و نتایج آن با نتایج آزمایش انجام شده توسط مولفین در دانشگاه صنعتی شیراز [۱۴] صحت سنجی شده است و در نهایت نتایج حاصل از تحلیل عددی اتصال پیچی و جوشی با هم مقایسه گردیده است و تأثیر پارامترهای مختلف بر عملکرد اتصال نبشی بالا و پایین جوشی بررسی شده است. بصورت کلی هدف اصلی مطالعه حاضر، به دست آوردن و مقایسه نتایج عددی رفتار اتصال ساده تیر به ستون جوشی و پیچی (اتصال نبشی بالا و پایین) و تأثیر پارامترهای مختلف بر عملکرد اتصال جوشی، شامل مودهای شکست، نحوه توسعه عملکرد زنجیری، نحوه افزایش نیروها و تغییر شکل‌ها، تحت سناریوی حذف ستون مرکزی می‌باشد.

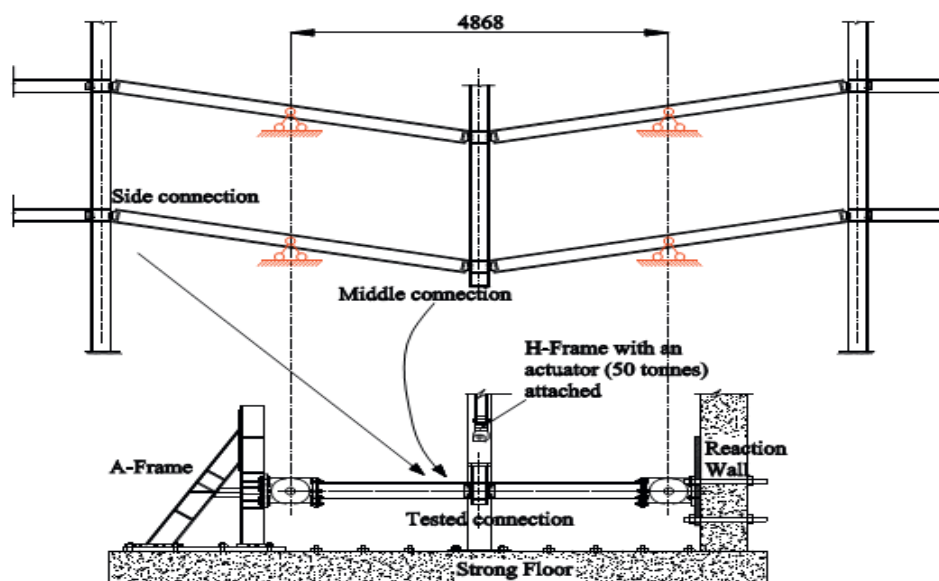
۲- مشخصات اتصالات بررسی شده در آزمایشگاه

نمونه‌های آزمایشگاهی که در این تحقیق مورد بررسی و مدل‌سازی قرار گرفته‌اند، اتصال پیچی نبشی بالا و پایین آزمایش شده توسط یانگ و تان [۱۱] و اتصال جوشی نبشی بالا و پائین آزمایش شده در دانشگاه صنعتی شیراز [۱۴] می‌باشند. این اتصال‌ها به شکل صلیبی، از دو تیر در دو طرف یک ستون ساخته شده‌اند، که نمونه‌ای از اتصال داخلی یک قاب می‌باشد. در شکل ۲ طرح کلی اتصال مورد آزمایش نشان داده شده است. تیرها در انتهای آزاد دارای تکیه‌گاه مفصلی و ستون در پایین آزاد و در بالا به جک اعمال نیرو بسته شده است تا تغییر مکان عمودی به آن وارد شود. این شرایط تکیه‌گاهی منطبق بر نقاط عطف تیرها و ستون‌ها (در وسط طول اعضا) در قاب، زیر بار قائم می‌باشد. انتهای تیرها از یک طرف به یک قاب فولادی و از طرف دیگر به یک دیوار بتنی یا سازه تکیه‌گاهی متصل شده‌اند.

² ABAQUS

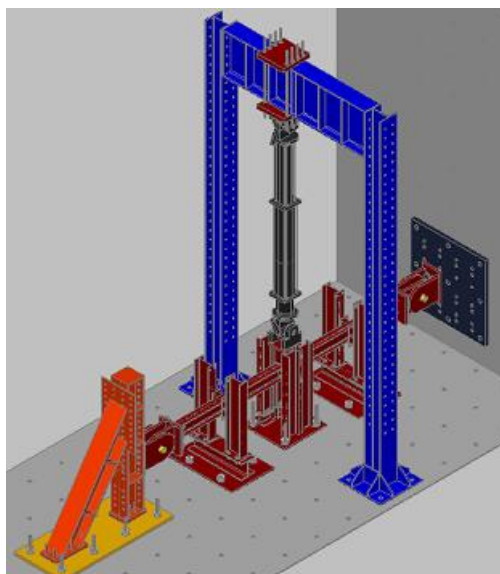
در اتصال پیچی آزمایش شده توسط یانگ و تان [۱۱] طول کل نمونه، شامل دو تیر و ارتفاع مقطع ستون، برابر ۴۲۰۸ میلی‌متر و با در نظر گرفتن طول وسایل اتصال تیرها به قاب فولادی و دیوار بتنی، طول کلی سیستم برابر ۴۸۶۸ میلی‌متر می‌باشد. طرح کلی نمونه پیچی ساخته شده در آزمایشگاه، در شکل ۳ مشاهده می‌شود. تیرها در فواصل ۹۷۶ میلی‌متری طولشان (از بال ستون) و ستون در قسمت پایین، دارای تکیه‌گاه جانبی هستند، تا از جابجایی خارج از صفحه نمونه‌ها، در حین آزمایش جلوگیری شود. تیر و ستون از فولاد S355 و به ترتیب از مقاطع اروپایی UB305*165*40 و UC203*203*71 ساخته شده و اجزای اتصال شامل نبشی‌ها از فولاد S275 ساخته شده‌اند. در این اتصال از پیچ M20,8.8 استفاده شده است. در شکل ۴ جزئیات اتصال تیر به ستون توسط نبشی بالا و پائین تیر نشان داده شده است. جهت محدود کردن تغییر شکل ستون، از سخت کننده‌ها یا ورق‌های ضخیم جوش شده، برای تقویت جان ستون استفاده شده است. یانگ و تان در آزمایشگاه، کرنش سنج‌هایی^۳ را مطابق شکل ۵ در نقاط مختلف تیر قرار دادند که پس از انجام آزمایش نیروهای داخلی در تیرها را از طریق این کرنش سنج‌ها بدست آوردند. برای طراحی اتصال از آیین‌نامه‌های اروپایی [۱۵ و ۱۶] استفاده شده است. مشخصات کامل مقاطع استفاده شده برای تیرها و ستونها در مدل مورد آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. اتصال تیر به ستون توسط نبشی بالا و پائین تیر از نوع نبشی دوبال مساوی با عرض بال ۹۰ میلی‌متر و ضخامت ۸ میلی‌متر اجرا شده است.

نحوه انجام آزمایش بر روی اتصال جوشی که در دانشگاه صنعتی شیراز [۱۴] صورت گرفته است، نیز کاملاً مشابه با آزمایش انجام شده توسط یانگ و تان می‌باشد و تفاوت صرفاً در نوع اتصال و مقاطع استفاده شده برای تیرها و ستونها می‌باشد. نمونه آزمایش شده به صورت یک اتصال صلیبی شکل می‌باشد که از دو تیر و یک ستون و چهار نبشی با ابعاد یکسان ساخته شده است. مقطع تیر IPE160 و مقطع ستون IPE270 تقویت شده توسط ورق بال می‌باشد. نبشی‌های اتصال نیز از نوع L100*100*10 می‌باشند که توسط جوش به تیر و ستون متصل شده‌اند. نمونه پس از ساخته شدن مطابق شکل ۶ در یک قاب فولادی که در آزمایشگاه موجود می‌باشد قرار گرفته و نیرو از طریق یک جک با ظرفیت ۴۰ تن، به اتصال وارد شده است. میزان نیرو و جابجایی توسط مانیتوری که به دستگاه اعمال بار متصل می‌باشد برداشت شده است.

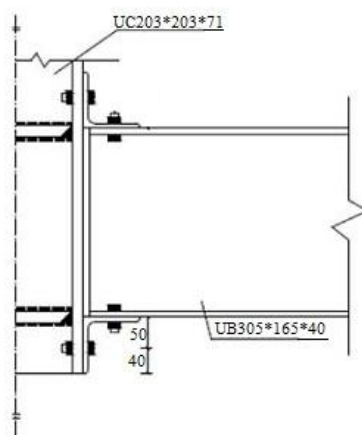
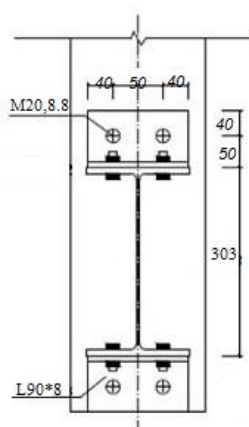


شکل ۲: طرح بندی کلی اتصال در آزمایش یانگ و تان [۱۱]

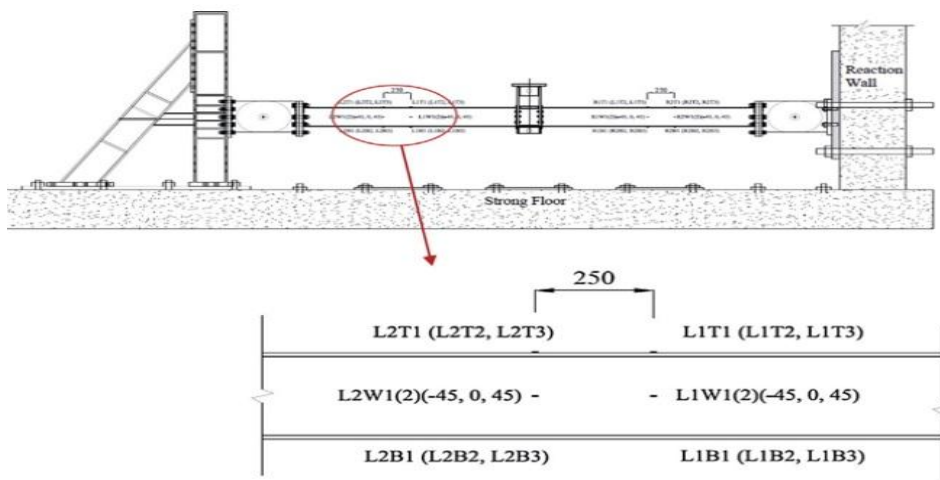
³ strain gauge



شکل ۳: نمایی کلی از دستگاه آزمایش یانگ و تان [۱۱]



شکل ۴: اتصال پیچی نبشی بالا و پایین در آزمایش یانگ و تان [۱۱]



شکل ۵: محل قرارگیری کرنش سنج ها بر روی تیر در آزمایش یانگ وتان [۱۱]

جدول ۱: مشخصات هندسی مقاطع مورد استفاده در تحقیقات یانگ و تان [۱۱] (ابعاد به میلیمتر)

نوع مقطع	عرض بال	ضخامت بال	ارتفاع مقطع	ضخامت جان
UB305*165*40	۱۶۵	۱۰/۲	۳۰۳/۴	۶
UC203*203*71	۲۰۶/۴	۱۷/۳	۲۱۵/۸	۱۰



شکل ۶: نمای کلی از نمونه اتصال جوشی آزمایش شده در دانشگاه صنعتی شیراز

۳- شبیه سازی اجزای محدود اتصال

در ابتدا اتصالی که در آزمایشگاه توسط یانگ و تان [۱۱] بررسی شده است، توسط نرم افزار اجزای محدود شبیه سازی شده است. هدف از این شبیه سازی، صحت سنجی مدل عددی ایجاد شده برای اتصال پیچی در نرم افزار و بررسی پارامترهای مؤثر بر رفتار اتصال در اثر حذف ستون می باشد. سپس نمونه های مختلف، با تغییر مشخصات اتصال مدل سازی شده و تأثیر پارامترهای مختلف بر روی رفتار اتصال

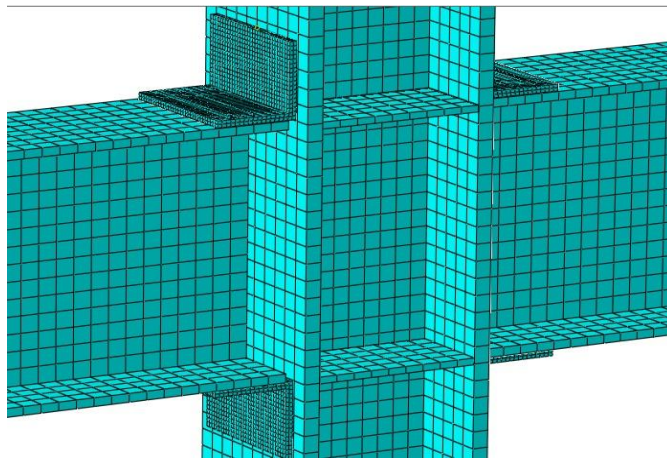
بررسی گردیده است. به دلیل هزینه و زمان زیاد مورد نیاز برای بررسی این پارامترها در آزمایشگاه، بررسی آنها از طریق شبیه سازی عددی معتبر، بسیار کم هزینه و نیاز به زمان بسیار کمتری دارد.

نرم افزاری که در این پژوهش برای شبیه سازی عددی اتصالات استفاده شده است نرم افزار آباکوس [۱۳] می باشد. در نرم افزار آباکوس، کلیه اجزای نمونه اتصال به صورت حجمی و مطابق با واقعیت شبیه سازی شده اند. ابعاد و اندازه های اجزای اتصال، کاملاً منطبق بر نمونه اتصالی است که در آزمایشگاه [۱۱]، ساخته شده است. خصوصیات مصالح فولادی، شامل چگالی ($\rho=7800 \text{ kg/m}^3$) ضریب پواسون ($\nu=0.3$)، مدول ارتجاعی ($E=2 \times 10^{11} \text{ (Pa)}$) و تنش تسلیم برای فولادهای S275 و S355 و فولاد پیچ M20, 8.8 به ترتیب برابر ۲۸۵ و ۳۷۰ و ۶۴۰ مگاپاسکال می باشد. مشخصات فولاد در این تحلیل در سه قسمت مجزا به نرم افزار معرفی شده است، ابتدا مرحله خطی یا الاستیک که شامل ضریب پواسون و مدول ارتجاعی می باشد و سپس مرحله پلاستیک که شامل تنش و کرنش تسلیم و نهایی بوده و در نهایت هم مرحله پس از تسلیم و شکست که به صورت شکست انعطاف پذیر^۴ به نرم افزار داده شده است. در شبیه سازی عددی اتصال نبشی بالا و پایین جوشی، برای اعمال تاثیر جوش، حرکت نسبی بین اجزای جوش شده در سه راستا مقید شده است. محدودیت قید^۵ نرم افزار آباکوس، برای این منظور استفاده می شود. در واقع دو عضو، با استفاده از محدودیت قید، به همدیگر بسته می شوند. اندرکنش بین اجزای در تماس، که بهم جوش نشده اند، در دو راستای مماسی و عمودی تعریف می شود. اندرکنش بین اجزا، در راستای عمودی، به صورت سخت داده می شود به طوری که صفحات در یکدیگر نفوذ نمی کنند و در راستای مماسی از فرمول بندی اصطکاکی جریمه، با ضریب اصطکاک $m=0.35$ استفاده می شود. آیین نامه [۱۷] AISC، این مقدار را برای ضریب اصطکاک سطوح فولادی در تماس با یکدیگر پیشنهاد داده است. بارگذاری به صورت کنترل تغییر مکان در نظر گرفته شده است و به شکل اعمال جابجایی عمودی به ستون تا لحظه گسیختگی پیش خواهد رفت. شرایط مرزی اتصال، از جمله تکیه گاه های مفصلی انتهایی تیر و نگه دارنده های جانبی اتصال (که محل آنها در بخش قبل بیان شد)، به دقت در نرم افزار شبیه سازی شده اند. با توجه به استفاده از تحلیل گر دینامیکی صریح^۶، نمودارهای زمانی برای حل مسئله، به صورت خودکار توسط نرم افزار آباکوس تعیین می شود. کلیه اجزای اتصال با استفاده از اجزای حجمی پیوسته، مرتبه اول و با انتگرال گیری کاهش یافته (C3D8R)، شبکه بندی شده اند. استفاده از این نوع المان، مطابق با نیازهای شبیه سازی این نوع اتصالات، از جمله رفتار خمیری مصالح و اندرکنش های تماسی است. اجزای اتصال شامل نبشی ها و پیچ ها، نسبت به تیر و ستون دارای شبکه بندی ریزتری هستند، این موضوع به دلیل تمرکز بیشتر بر رفتار اجزای اتصال است و همچنین دو سطح در تماس با یکدیگر که اندرکنش دارند، باید طوری شبکه بندی شوند که یکی از سطوح (سطح وابسته) ریزتر از دیگری (سطح اصلی) شبکه بندی شود. با توجه به توضیحات داده شده، برای شبکه بندی هر یک از اجزای اتصال بسته به میزان اهمیت و موقعیت قرارگیری عضو در اتصال، ابعاد شبکه بندی از ۳ میلیمتر تا ۲۰ میلیمتر متغیر می باشد. برای محدوده نزدیک به محل اتصال تیر به ستون (شامل نبشی ها و پیچ ها)، از شبکه بندی با ابعاد ۳ میلیمتر و برای اعضای دور از محدوده اتصال (شامل تیرها و ستون) از شبکه بندی با ابعاد ۲۰ میلیمتر استفاده گردیده است (شکل ۷-الف). بعد از شبیه سازی مراحل بیان شده در بالا، با استفاده از تحلیل گر دینامیکی صریح پاسخ اتصال به تغییر مکان عمودی، بدست آورده می شود. این تحلیل گر، برای بدست آوردن پاسخ های غیر خطی مناسب است. اثر تغییر شکل های بزرگ (غیر خطی هندسی)، در تحلیل در نظر گرفته می شود. این تحلیل گر همچنین، توانایی شبیه سازی شکست مصالح از لحظه شروع خرابی تا لحظه گسیختگی را داراست. شکل ۷-ب، شبیه سازی عددی اتصال نبشی بالا و پایین پیچی و جوشی را که با استفاده از نرم افزار آباکوس تهیه شده، نمایش می دهد.

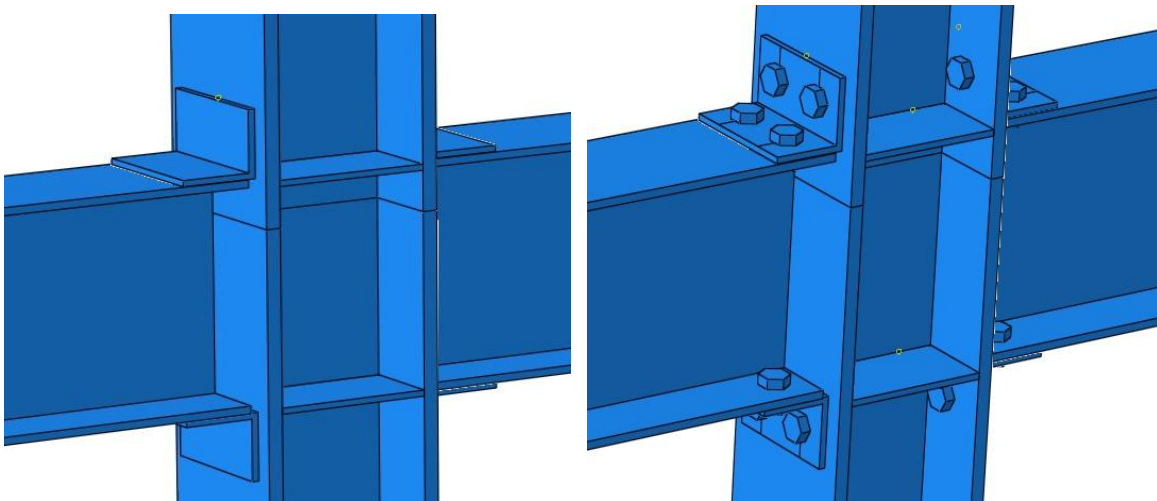
⁴ Ductile damage

⁵ Tie

⁶ Dynamic Explicit



(الف)



اتصال جوشی

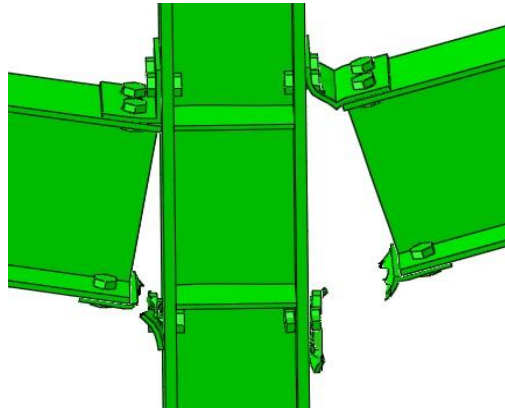
اتصال پیچی

(ب)

شکل ۷: هندسه و طرح‌بندی و شبکه‌بندی شبیه‌سازی اتصال نبشی بالا و پایین

۴- مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی

در این قسمت، صحت نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی اتصال نبشی بالا و پایین، برای اتصال پیچی با نتایج تحلیلی نمونه آزمایشگاهی یانگ و تان [۱۱] و برای اتصال جوشی با آزمایش انجام شده توسط مولفین در دانشگاه صنعتی شیراز [۱۴] ارزیابی شده است. برای اتصال پیچی، حالت شکست نمونه آزمایشگاهی، گسیختگی نبشی پایین در نزدیکی ماهیچه است که این شکست در شکل ۸ نشان داده شده است، مراحل شکست این اتصال بدین صورت است که ابتدا نبشی پایین سمت راست و سپس نبشی پایین سمت چپ و در نهایت هم نبشی بالا سمت چپ دچار گسیختگی می‌شود. طبق نتایج بدست‌آمده از این تحلیل، حالت شکست اتصال که شامل شروع خرابی و تکامل آن می‌باشد را برای این اتصال به درستی تخمین زده است. همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است، نبشی پایین هم در آزمایشگاه و هم در نرم‌افزار، در قسمت ماهیچه دچار گسیختگی شده است.



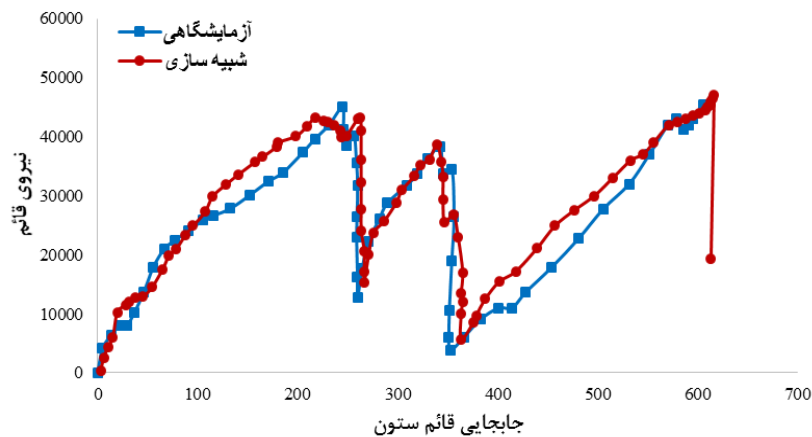
ب- نمونه شبیه‌سازی شده



الف- نمونه آزمایشگاهی

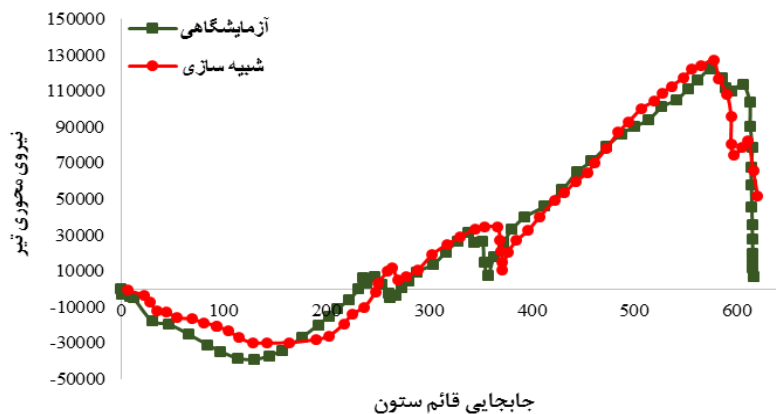
شکل ۸: مقایسه حالت شکست نمونه شبیه‌سازی شده اتصال نبشی بالا و پایین و نمونه آزمایشگاهی

منحنی پاسخ نمونه شبیه‌سازی شده اتصال پیچی نبشی بالا و پایین، در شکل ۹ با تحلیل آزمایشگاهی یانگ و تان [۱۱] مقایسه شده است. با توجه به این شکل دیده می‌شود که منحنی‌های پاسخ تطابق بسیار خوبی با یکدیگر داشته و نرم‌افزار آباکوس توانایی پیش‌بینی حداکثر بار در جابجایی نهایی اتصال نبشی بالا و پایین را دارد. شکل ۹ نشان می‌دهد که اتصال نبشی بالا و پایین، در مرحله ابتدایی و در جابجایی‌های کم، به دلیل سختی خمشی بالای اتصال، مقاومت بیشتری از خود نشان داده است اما با افزایش تدریجی جابجایی قائم ستون به دلیل انعطاف‌پذیری نبشی‌های اتصال، سختی خمشی اتصال کمی کاهش یافته و شیب منحنی نسبت به جابجایی‌های اولیه کمتر شده است. پس از این مرحله، در جابجایی حدود ۲۵۰ میلی‌متر نبشی پایین سمت راست دچار گسیختگی شده و عملکرد زنجیری به صورت جزئی بسیج شده است که این مطلب در نمودار شکل ۹ به خوبی قابل مشاهده است و پس از این مرحله، مقاومت اتصال به صورت صعودی تا قبل از شکست نبشی پایین سمت چپ افزایش می‌یابد، پس از شکست این نبشی، اتصال دچار افت شدید مقاومت می‌شود. پس از افت شدید مقاومت با افزایش بار اعمالی نیروی محوری کششی در تیر افزایش می‌یابد تا اینکه در جابجایی حدود ۶۰۰ میلی‌متر و قبل از شکست نبشی بالا سمت چپ، اتصال به بیشترین مقاومت خود رسیده و پس از شکست این نبشی مقاومت آن تقریباً به صفر می‌رسد. با مقایسه عددی ظرفیت باربری اتصال نبشی بالا و پایین در اولین شکست (مطابق با نمودار شکل ۹)، این مقدار در نمونه آزمایشگاهی و شبیه‌سازی شده به ترتیب برابر با ۴/۵ و ۴/۳ تن می‌باشد که میزان خطا برابر ۴/۴ درصد است.



شکل ۹: مقایسه پاسخ نیرو-تغییر مکان تحلیل عددی اتصال نبشی بالا و پایین با نتایج تحلیل آزمایشگاهی [۱۱]

برای بررسی نحوه توسعه عملکرد زنجیری، منحنی نیروی محوری در تیر در برابر جابجایی عمودی ستون در شکل ۱۰ هم برای نمونه آزمایشگاهی و هم برای نمونه شبیه‌سازی شده، نشان داده شده است. با توجه به این شکل، نحوه گسترش نیروی محوری در تیرها در اتصال نبشی بالا و پایین پیچی دو مرحله‌ای است. در جابجایی‌های اولیه، عملکرد زنجیری در تیر توسعه پیدا نکرده است که علت آن سختی خمشی تیر می‌باشد و به همین علت در جابجایی بین ۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر به صورت عکس عمل کرده و نیروهای فشاری در تیر ایجاد گردیده است، اما با افزایش جابجایی، مکانیزم کششی بر سختی خمشی تیر غلبه کرده و به دلیل ظرفیت دورانی بالای این اتصال، باعث گسترش عملکرد زنجیری و ایجاد نیروی محوری کششی زیادی در تیر شده است. با توسعه این عملکرد، نیروی قائم ستون از طریق مکانیزم مسیر جایگزین حمل بار، به قاب‌های مجاور انتقال یافته و باعث افزایش مقاومت اتصال در برابر خرابی پیشرونده و جلوگیری از خرابی‌های بیشتر می‌شود.



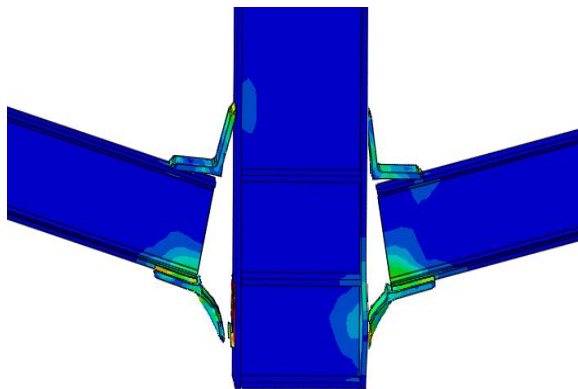
شکل ۱۰: منحنی نیروی محوری تیر در مقابل جابجایی عمودی ستون

خلاصه‌ای از مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی و نمونه آزمایشگاهی [۱۱] شامل مؤلفه‌های نیرویی، مانند بیشینه بار قائم متناظر با جابجایی ستون میانی و حداکثر عکس‌العمل افقی تیر در تکیه‌گاه و مؤلفه‌های جابجایی مانند بیشینه جابجایی قائم ستون و چرخش تیر در جدول ۲ آورده شده است.

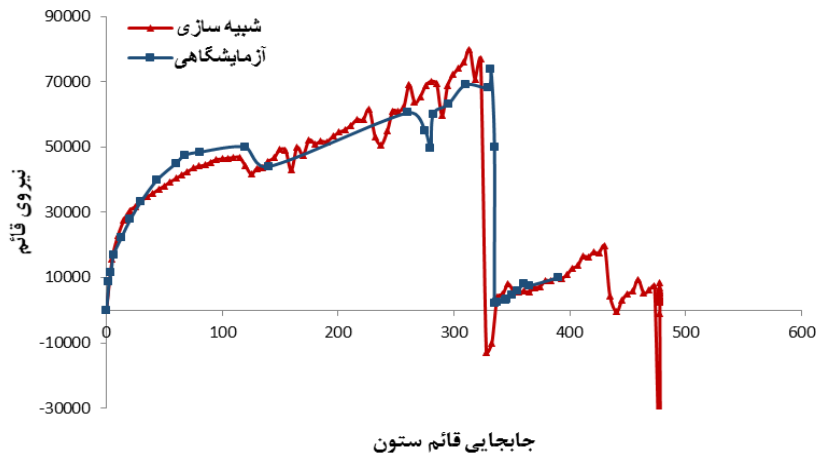
جدول ۲: مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی و آزمایشگاهی اتصال نبشی بالا و پائین پیچی

حالت های مقایسه شده	رفتار اتصال در اولین شکست (قبل از فعال شدن عملکرد زنجیری)			رفتار اتصال در حالت نهائی (پس از فعال شدن عملکرد زنجیری)		
	آزمایشگاهی	شبیه سازی	خطا/٪	آزمایشگاهی	شبیه سازی	خطا/٪
	بار قائم بیشینه ستون (کیلونیوتن)	۴۲/۵	۴۵	۵/۸	۴۴/۸	۴۶/۵
جابجایی ستون میانی (میلیمتر)	۲۴۳	۲۴۵	۰/۸	۶۰۶	۶۱۶	۱/۷
زاویه چرخش تیر (درجه)	۵/۹۶	۵/۷۵	۳/۵	۱۲۰	۱۲۶/۷	۵/۲
بیشینه نیروی کششی در تیر (کیلونیوتن)	۷	۶/۴	۸/۶	۱۴	۱۴/۱	۰/۷
حالت شکست	گسیختگی نبشی پائین در نزدیکی ماهیچه	گسیختگی نبشی پائین در نزدیکی ماهیچه		گسیختگی نبشی بالا	گسیختگی نبشی بالا	

برای اطمینان از نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی اتصال جوشی توسط نبشی بالا و پایین، از نتایج آزمایش انجام شده در دانشگاه صنعتی شیراز [۱۴] استفاده شده است. همانطور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است حالت شکست اتصال در آزمایشگاه و در شبیه‌سازی به صورت پاره گی نبشی پایین از قسمت جوش شده به بال ستون می‌باشد که این نشان‌دهنده توانایی بالای نرم‌افزار آباکوس در شبیه‌سازی شکست اتصالات می‌باشد. نمودار نیرو-جابجایی اتصال نیز در شکل ۱۲ ترسیم شده است که تطابق بسیار خوبی بین نتایج حاصل از نمونه آزمایشگاهی و نمونه عددی وجود دارد.



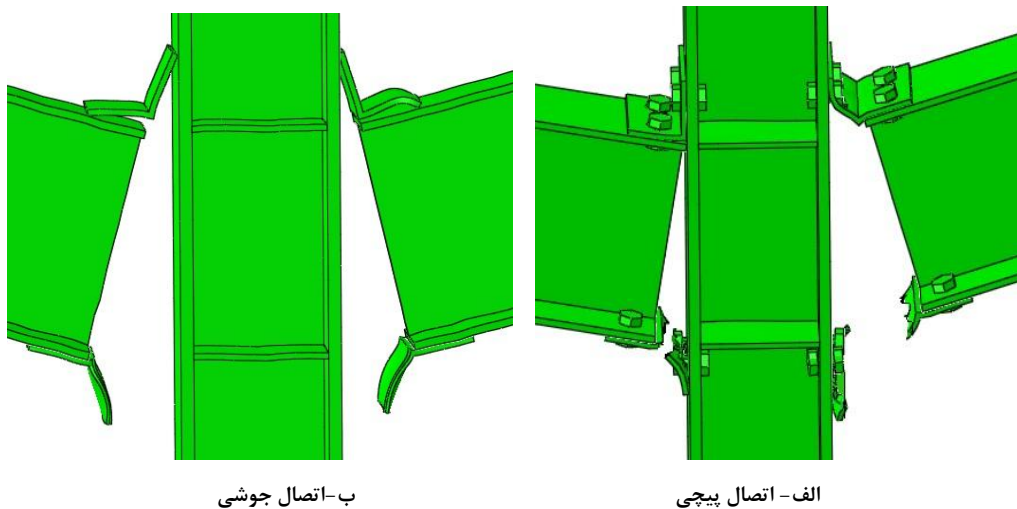
شکل ۱۱: مقایسه حالت شکست اتصال جوشی در نمونه آزمایشگاهی و نمونه عددی



شکل ۱۲: مقایسه پاسخ نیرو-جابجایی اتصال جوشی در نمونه آزمایشگاهی و نمونه عددی

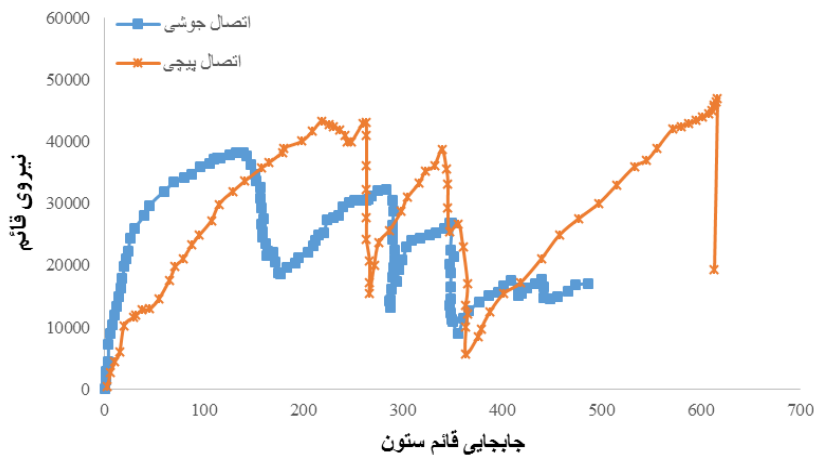
۵- مقایسه عملکرد اتصال پیچی و جوشی

در این بخش رفتار اتصال نبشی بالا و پایین که در آن از جوش برای اتصال استفاده شده است با رفتار اتصال نبشی بالا و پایین که از وسایل پیچی استفاده شده و در بخش قبل مورد بررسی قرار گرفت، مقایسه گردیده است. حالت شکست و خرابی اتصال پیچی و جوشی در شکل ۱۳ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، حالت خرابی این دو نوع اتصال با یکدیگر متفاوت می‌باشد. اتصال پیچی در نزدیکی ماهیچه نبشی پایین دچار شکست شده و اتصال جوشی در نبشی پایین در قسمت جوش شده به بال ستون دچار خرابی و گسیختگی شده است.



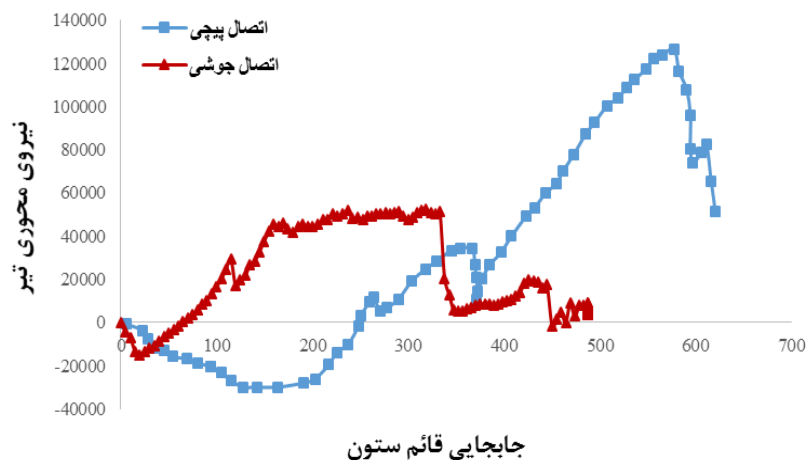
شکل ۱۳: مقایسه حالت شکست نمونه شبیه‌سازی شده اتصال نبشی بالا و پایین پیچی و جوشی

منحنی‌های نیرو-جابجایی عمودی ستون، برای دو نوع اتصال پیچی و جوشی در شکل ۱۴ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، استفاده از وسایل اتصال جوشی، ظرفیت اتصال را کاهش می‌دهد با این تفاوت که در مرحله ابتدایی از نمودار، اتصال جوشی نسبت به اتصال پیچی به دلیل سختی بالاتر، مقاومت بیشتری از خود نشان داده است، اما با افزایش جابجایی ستون به دلیل انعطاف‌پذیری کم اتصال جوشی، این اتصال قادر به توسعه عملکرد زنجیری در تیر نبوده و مقاومت آن در برابر حذف ستون میانی نسبت به اتصال پیچی کمتر می‌باشد و در جابجایی و نیروی کمتری نسبت به اتصال پیچی دچار شکست و گسیختگی می‌شود.



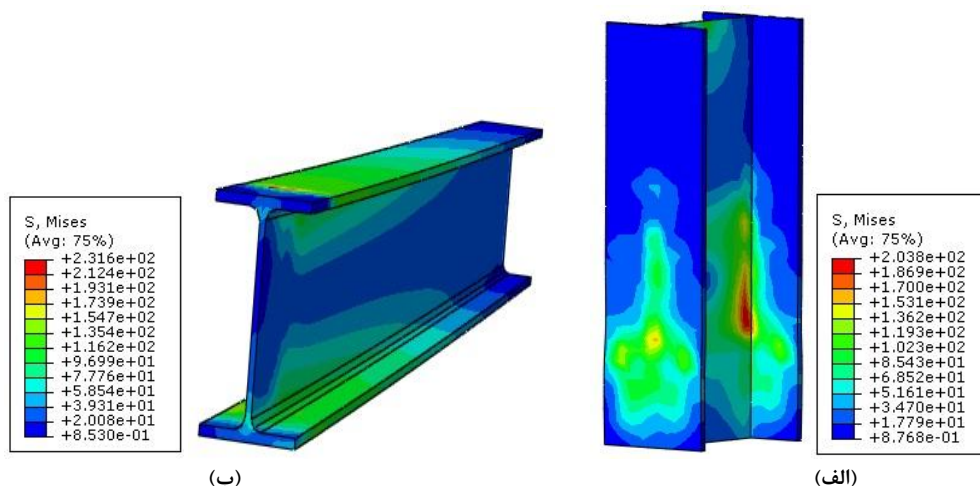
شکل ۱۴: مقایسه پاسخ نیرو-تغییر مکان تحلیل عددی اتصال نبشی بالا و پایین پیچی و جوشی

مقایسه نحوه توسعه بار محوری تیرها در اتصال پیچی و جوشی در شکل ۱۵ نشان داده شده است. نحوه گسترش نیروی محوری تیرها در هر دو اتصال، مانند اتصالات خمشی دو مرحله‌ای است و در جابجایی‌های اولیه نیروی فشاری محوری در تیرها به وجود می‌آید، با این تفاوت که نیروی محوری فشاری ایجاد شده در اتصال پیچی بیشتر می‌باشد. حداکثر نیروی محوری کششی ایجاد شده در تیرها در اتصال جوشی خیلی کمتر از اتصال پیچی می‌باشد و نیروی محوری تیرها در این اتصال در بازه جابجایی نسبتاً زیادی ثابت مانده است، پس اتصال پیچی در توسعه عملکرد زنجیری رفتار بهتری نسبت به اتصال جوشی دارد به همین علت مقاومت بیشتری در برابر حذف ستون میانی از خود نشان می‌دهد.



شکل ۱۵: مقایسه نحوه توسعه عملکرد زنجیری در اتصال نبشی بالا و پایین پیچی و جوشی

شکل ۱۶ توزیع تنش در تیر و ستون در لحظه قبل از گسیختگی اتصال را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، اثبات می‌شود که تیر و ستون، به دلیل ضعیف بودن اتصال و همچنین تقویت ستون توسط ورق‌های ضخیم تسلیم نشده‌اند. تنش‌های باقی مانده در تیر بعد از لحظه گسیختگی ناشی از نوسان دینامیکی سیستم در اثر گسیختگی نبشی‌ها می‌باشد و در نهایت با توقف حرکت سیستم به صفر میل خواهد کرد.



شکل ۱۶: توزیع تنش در تیر و ستون قبل از گسیختگی نبشی اتصال نبشی بالا و پایین

با مطالعه نتایج عددی و آزمایشگاهی دیده می شود که در هر دو نوع اتصال جوشی و پیچی، در ابتدا اتصالات تحت اثر برش ناشی از نیروی قائم ستون می باشند، در این مرحله تیرها نیز تحت اثر خمش می باشند. با افزایش جابجائی قائم ستون، بتدریج نیروی محوری کششی در تیرها ایجاد می گردد و رفتار زنجیری (رفتار کابلی شکل) جایگزین رفتار خمشی می گردد. در لحظه گسیختگی، تیرها تحت اثر کشش بوده و این نیروی کششی باعث کنده شدن یا پاره گی اتصالات از بر ستون و گسیختگی اتصال می گردد. برای اتصال توسط نبشی بالا و پایین، گسیختگی اتصال ناشی از جدا شدگی یا پاره گی نبشی های اتصال تحت اثر کشش می باشد.

در مرحله نزدیک به گسیختگی پس از اینکه چرخش زیادی در تیرها ایجاد گردید، عملکرد زنجیری قابل توجه می باشد و کل سیستم شبیه به یک کابل تحت اثر نیروی متمرکز و یا یک سیستم خرپای دو عضوی مطابق شکل ۱۷ عمل می نماید. در این حالت با نوشتن معادلات تعادل مطابق رابطه (۱)، می توان حداکثر نیروی کششی ایجاد شده در تیرها و زاویه چرخش تیرها را محاسبه نمود.

$$P = 2T \sin \theta \rightarrow T = \frac{P}{2 \sin \theta} \quad (1)$$

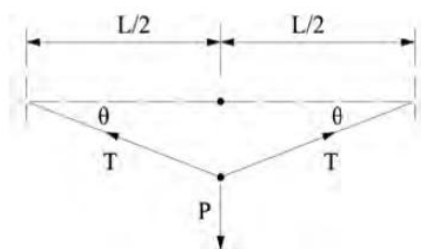
در این رابطه P نیروی قائم در ستون، T نیروی محوری در تیر و θ زاویه دوران انتهای تیرها می باشد (مطابق با شکل ۱۷) که براساس طول هر کدام از تیرهای دو طرف ستون ($L/2$) و جابجائی قائم ستون محاسبه می گردد. به عنوان نمونه برای اتصال پیچی با نبشی بالا و پایین که مقادیر عددی نیروها و جابجائی ها در جدول ۲ منعکس گردیده است، در لحظه گسیختگی نهائی بر اساس نتایج آزمایشگاهی مقادیر زیر بدست آمده است:

$$P=44.8 \text{ kN}, \Delta=606 \text{ mm}, L=4868 \text{ mm}, \tan \theta = \frac{\Delta}{L/2} \rightarrow \theta = 14^\circ$$

با جایگذاری این مقادیر در رابطه (۱) مقدار نیروی کششی در تیر مطابق زیر حاصل می گردد:

$$T = \frac{44.8}{2 \sin 14} = 92.6 \text{ kN}$$

نیروی کششی تیر بر اساس نتایج آزمایشگاهی مطابق با جدول ۲ برابر با ۱۲۰ کیلو نیوتن می باشد که مقدار بدست آمده از رابطه (۱) نسبت به مقدار دقیق دارای ۲۲ درصد خطا می باشد. بنابراین فرمول بسیار ساده ارائه شده در رابطه (۱) که بر اساس رفتار خرپائی سیستم نوشته شده است در حالت حدی می تواند با دقت نسبتاً مناسبی رفتار سیستم را پیش بینی نماید. دقت این رابطه بسته به نوع اتصال و رفتار آن می تواند متفاوت باشد و برای بعضی از اتصالات با دقت مناسب تری رفتار اتصال را پیش بینی می نماید [۱۱].



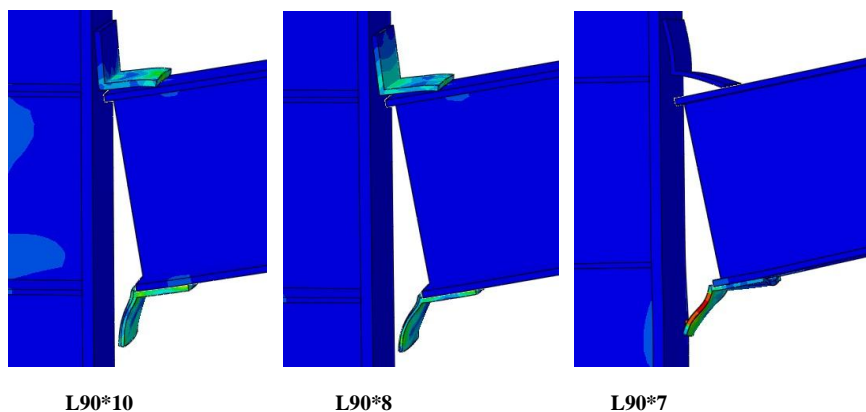
شکل ۱۷: نمایش سیستم خرابائی ایجاد شده، پس از بوجود آمدن دوران زیاد در تیرها

۶- مطالعات پارامتریک در اتصال جوشی

ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی و تحلیل آنها نیاز به زمان، هزینه، تجهیزات و مراقبت زیادی دارند، ضمن اینکه اندازه‌گیری و استخراج داده‌های مورد نیاز از آنها، بسیار دشوار است. به همین دلیل نمونه‌های محدودی در آزمایشگاه تحلیل می‌شوند و تأثیر تعداد کمی از پارامترها روی رفتار آنها، بررسی می‌شود. شبیه‌سازی‌های عددی کم‌هزینه هستند و اندازه‌گیری و استخراج داده‌های مورد نیاز از تحلیل آنها بسیار آسان است. بنابراین می‌توان ابتدا یک نمونه تحلیل شده در آزمایشگاه را شبیه‌سازی کرد تا راستی شبیه‌سازی عددی ارزیابی شود، سپس نمونه‌های زیادی، با تغییر پارامترهای مختلف، شبیه‌سازی و تحلیل کرد. در این بخش اثر ضخامت نبشی، اثر استفاده از سخت‌کننده در نبشی پایین اتصال و اثر استفاده از نبشی بالا و پایین جوشی مورد ارزیابی قرار گرفته است. تأثیر این پارامترها بر عملکرد اتصال نبشی بالا و پایین از جمله: میزان تأثیر پارامتر مورد نظر در افزایش ظرفیت مقاومتی و میزان تغییر شکل اتصال، نحوه گسترش عملکرد زنجیری در اتصال و حالت شکست اتصال، مورد بررسی قرار گرفته و نتایج هر بخش، تفسیر و با یکدیگر مقایسه شده است.

۶-۱- بررسی اثر ضخامت نبشی

در نمونه اولیه آزمایشگاهی، برای نبشی بالا و پایین، از نوع $L90*8$ استفاده شده است. در این بخش، اثر ضخامت نبشی اتصال بر عملکرد آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، به همین منظور علاوه بر نمونه اولیه، دو نمونه اتصال با نبشی های $L90*7$ و $L90*10$ نیز شبیه‌سازی شده و نتایج آن با یکدیگر مقایسه شده است. شکل ۱۸ حالت‌های شکست سه نمونه اتصال شبیه‌سازی شده را با هم مقایسه می‌کند. با توجه به این شکل حالت شکست هر سه اتصالات یکسان و در ناحیه جوش شده نبشی پایین به بال ستون می‌باشد.



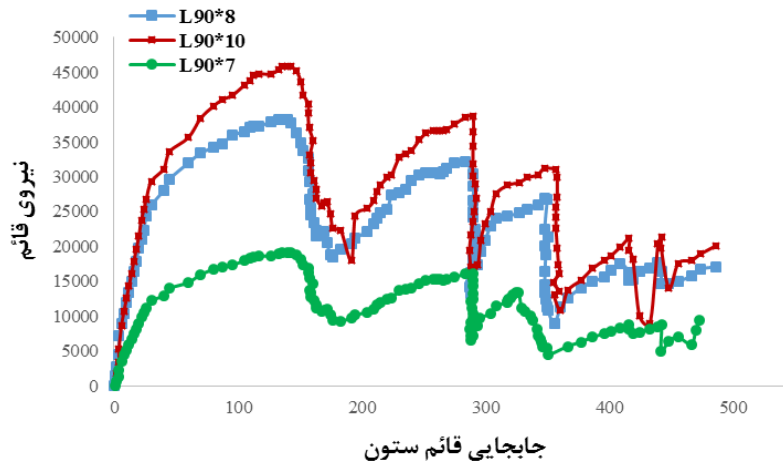
L90*10

L90*8

L90*7

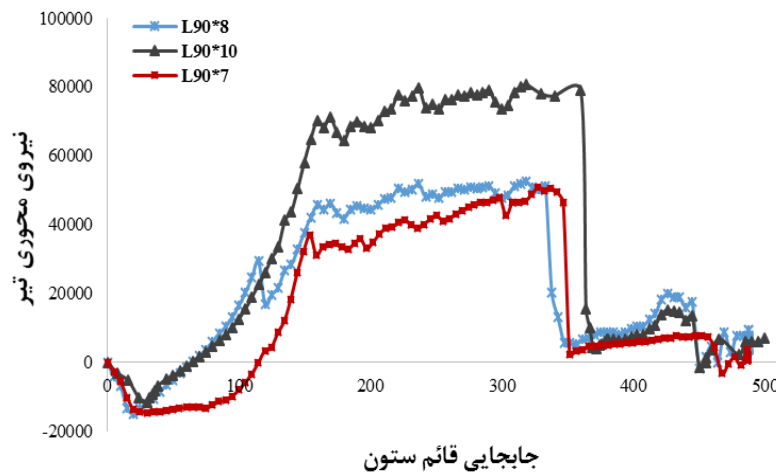
شکل ۱۸: مقایسه مود شکست اتصال نبشی بالا و پایین در ضخامت‌های مختلف

شکل ۱۹ منحنی‌های پاسخ سه نمونه اتصال با نبشی با ضخامت‌های گفته شده را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نشان داده شده است، افزایش ضخامت نبشی باعث افزایش مقاومت اتصال می‌شود بطوریکه با افزایش جابجایی قائم ستون، اتصال با نبشی ضخیم‌تر، مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد. قابل ذکر است افزایش ضخامت نبشی از ۷ میلیمتر به ۸ میلیمتر تأثیر بیشتری در افزایش مقاومت اتصال نسبت به افزایش ضخامت از ۸ میلیمتر به ۱۰ میلیمتر دارد.



شکل ۱۹: اثر ضخامت بر پاسخ نیرو-جابجایی عمودی اتصال نبشی بالا و پایین

شکل ۲۰ نمودارهای واکنش افقی تیرها در برابر جابجایی عمودی ستون را در اتصالات ذکر شده نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، افزایش ضخامت نبشی در اتصال نبشی بالا و پایین باعث افزایش نیروی محوری در تیرها و بهبود توسعه عملکرد زنجیری در اتصال می‌شود و اتصال با نبشی با ضخامت بیشتر، رفتار بهتری نسبت به نبشی با ضخامت‌های کمتر، در توسعه عملکرد زنجیری دارد.

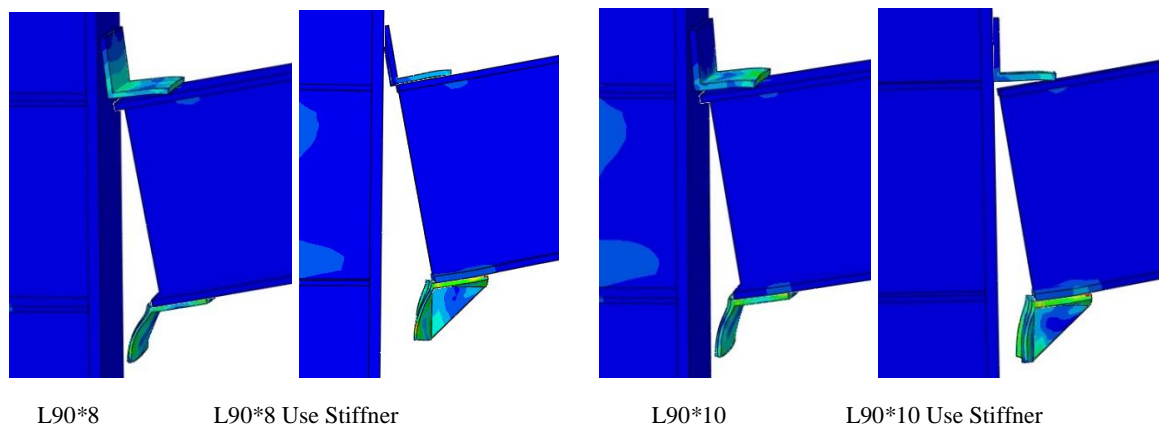


شکل ۲۰: اثر ضخامت بر نحوه گسترش عملکرد زنجیری در اتصال نبشی بالا و پایین

۲-۶- بررسی اثر استفاده از سخت‌کننده در نبشی

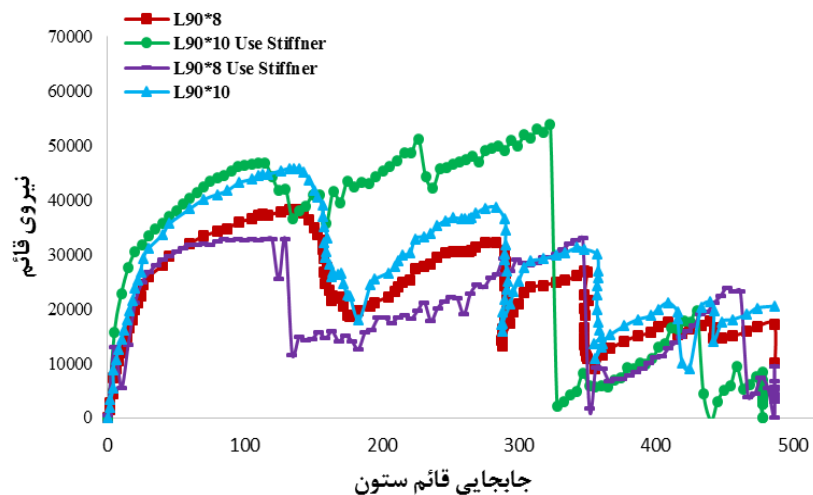
برای بررسی اثر استفاده از سخت‌کننده در نبشی پایین بر عملکرد اتصال، چهار نمونه عددی با و بدون سخت‌کننده شبیه‌سازی و مقایسه شده‌اند. ورق سخت‌کننده مورد نظر یک ورق مثلثی شکل است که در وسط نبشی پائین، به دو بال نبشی جوش می‌شود. شکل

۲۱ مودهای گسیختگی نمونه‌های عددی تحلیل شده را نشان می‌دهد که همگی به صورت پارگی نبشی پایین از محل جوش شده به بال ستون می‌باشند.

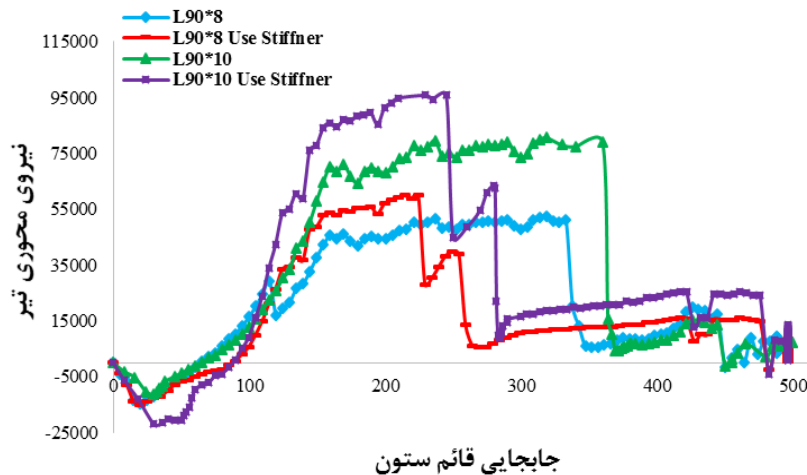


شکل ۲۱: مقایسه مد شکست اتصال نبشی بالا و پایین در اثر ضخامت و استفاده از سخت کننده در نبشی پایین

در شکل ۲۲ پاسخ نمونه‌های عددی با هم مقایسه شده است. همانطور که دیده می‌شود اضافه کردن ورق سخت کننده در نبشی پائین، شکل کلی منحنی نیرو-جابجائی را تغییر می‌دهد اما اثر آن بر روی ظرفیت اتصال چندان چشمگیر نمی‌باشد. برای هر دو نبشی با ضخامت ۸ و ۱۰ میلیمتر روند کلی منحنی نیرو-جابجائی در قبل و بعد از اضافه شدن ورق سخت کننده تقریباً مشابه می‌باشد، اما استفاده از ورق سخت کننده در نبشی با ضخامت ۱۰ میلیمتر باعث افزایش مقاومت اتصال نسبت به نمونه اولیه می‌شود ولی استفاده از سخت کننده در نبشی با ضخامت ۸ میلیمتر نتیجه‌ای عکس می‌دهد و باعث کاهش مقاومت اتصال می‌شود، این کاهش مقاومت در قسمت ابتدائی منحنی و قبل از شکل گیری عملکرد زنجیری رخ می‌دهد (در جابجائی حدود ۱۳۰ میلیمتر) که برای هر دو ضخامت نبشی اتفاق افتاده و قابل مشاهده می‌باشد. پس از آن همانطور که در شکل ۲۳ دیده می‌شود، با افزایش نیروی محوری در تیر عملکرد زنجیری شکل گرفته است که در نبشی با ضخامت ۱۰ میلیمتر این عملکرد بیشتر از نبشی با ضخامت ۸ میلیمتر بوده و توانسته است باعث بالا بردن ظرفیت کلی اتصال گردد. مطابق شکل ۲۳، دیده می‌شود که در اتصالات دارای ورق سخت کننده، نیروی محوری و در نتیجه عملکرد زنجیری بیشتری در تیرها نسبت به حالت بدون سخت کننده ایجاد شده است، اما این نیرو در بازه کوتاهی ادامه داشته و سپس دچار افت شدیدی می‌شود که این عملکرد باعث می‌شود اتصال در جابجایی کمتری دچار شکست نهائی شود. بنابراین با توجه به اینکه استفاده از سخت کننده در مرحله اول و قبل از شکل گیری عملکرد زنجیری باعث کاهش مقاومت اتصال می‌گردد و پس از آن ممکن است این کاهش مقاومت توسط عملکرد زنجیری جبران گردد، نمی‌توان استفاده از سخت کننده را بعنوان عاملی پایدار جهت افزایش مقاومت اتصال در نظر گرفت.



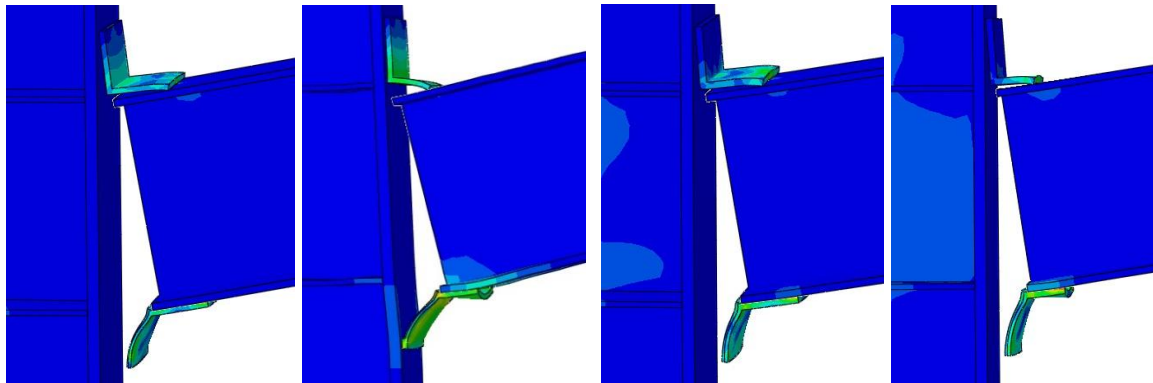
شکل ۲۲: اثر سخت کننده بر پاسخ نیرو-جابجایی عمودی اتصال نبشی بالا و پایین



شکل ۲۳: اثر سخت کننده بر نحوه گسترش عملکرد زنجیری در اتصال نبشی بالا و پایین

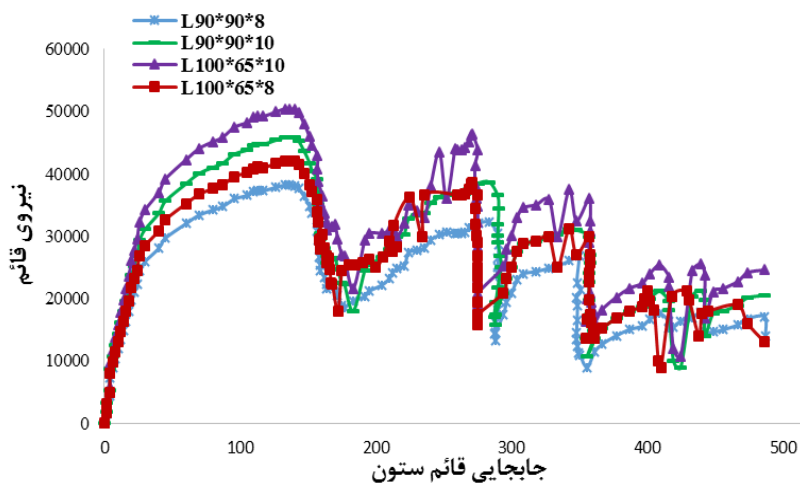
۳-۶- بررسی اثر استفاده از نبشی با بال نامساوی

جهت بررسی اثر استفاده از نبشی با بال نامساوی بر عملکرد اتصال نبشی بالا و پایین، دو نمونه اتصال با نبشی به ضخامت‌های ۸ و ۱۰ میلیمتر که در بخش قبل بیان شد، در این قسمت این دو ضخامت با نبشی با بال‌های نامساوی (L100*65*8 و L100*65*10) شبیه‌سازی شده و این چهار نمونه با یکدیگر مقایسه و بررسی شده‌اند (قابل ذکر است که بال بزرگتر نبشی به بال ستون جوش داده شده است). شکل ۲۴ حالت شکست این چهار نمونه شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد که در هر چهار حالت به صورت گسیختگی نبشی پایین از محل جوش شده به بال ستون می‌باشد.

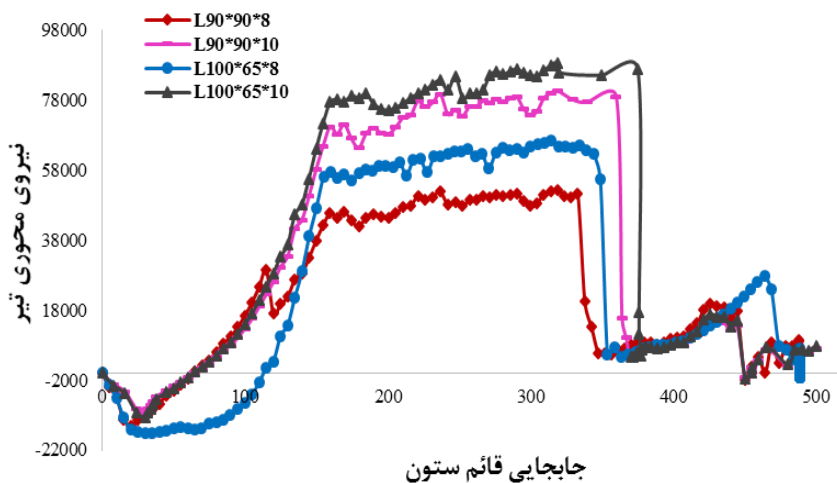


شکل ۲۴: مقایسه مد شکست اتصال نبشی بالا و پایین در اثر استفاده از نبشی با بال نامساوی در نبشی پایین
ضخامت ۸ دو بال نامساوی ضخامت ۸ دو بال مساوی ضخامت ۱۰ دو بال نامساوی ضخامت ۱۰ دو بال مساوی

منحنی پاسخ نیرو-جابجایی عمودی ستون برای این چهار نمونه اتصال در شکل ۲۵ نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است، استفاده از نبشی با بال نامساوی باعث افزایش مقاومت نهایی اتصال می‌شود، البته این افزایش چندان چشمگیر نمی‌باشد. به عبارت دیگر با افزایش ارتفاع بال نبشی پائینی در محل اتصال به ستون ظرفیت اتصال در مقابل خرابی پیشرونده افزایش می‌یابد. در شکل ۲۶ نحوه توسعه نیروی محوری و تشکیل عملکرد زنجیری در تیر نشان داده شده که بیشترین نیروی محوری در اتصال با نبشی دو بال نامساوی به ضخامت ۱۰ میلیمتر تشکیل شده است.



شکل ۲۵: اثر نبشی با بال نامساوی بر پاسخ نیرو-جابجایی عمودی اتصال نبشی بالا و پایین



شکل ۲۶: اثر نبشی با بال نامساوی بر نحوه گسترش عملکرد زنجیری در اتصال نبشی بالا و پایین

۷- نتیجه گیری

در این مقاله عملکرد اتصال تیر به ستون در حالت حذف ستون مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا نمونه عددی اتصال نبشی بالا و پایین پیچی و جوشی که در نرم افزار مدل شده است با نمونه تحلیل شده در آزمایشگاه مقایسه و صحت سنجی شده است. سپس رفتار اتصال جوشی با اتصال پیچی مقایسه گردیده است و اثر پارامترهای مختلف بر اتصال جوشی بررسی شده است که نتایج حاصل به شرح زیر می باشد.

- بین نتایج حاصل از شبیه سازی عددی و نتایج حاصل از تحلیل آزمایشگاهی تطابق خوبی وجود دارد که نشان دهنده توانایی نرم افزار آباکوس در پیش بینی رفتار اتصالات می باشد.
- اتصالات پیچی به علت انعطاف پذیری بیشتر نسبت به اتصالات جوشی در برابر بروز خرابی پیشرونده عملکرد بهتری از خود نشان داده و نیروی محوری در تیرها به خوبی توسعه پیدا کرده و باعث بهبود عملکرد زنجیری در تیر می شود.
- به علت رفتار متفاوت اتصال پیچی و جوشی، حالت شکست در این دو نوع اتصال متفاوت است. در اتصال پیچی خرابی اتصال به صورت پارگی نبشی پایین در نزدیکی ماهیچه می باشد، در حالیکه در اتصال جوشی به صورت پارگی نبشی پایین در قسمت جوش شده به بال ستون می باشد.
- افزایش ضخامت نبشی اتصال باعث افزایش مقاومت اتصال در خرابی پیشرونده و توسعه عملکرد زنجیری می شود.
- استفاده از ورق سخت کننده در وسط نبشی نشیمن در اتصال نبشی بالا و پایین در همه حالات باعث افزایش مقاومت نهایی اتصال نمی گردد و از آن نمی توان بعنوان یک روش مؤثر برای افزایش مقاومت اتصال در خرابی پیشرونده استفاده نمود.
- استفاده از نبشی با بال های نامساوی به نحوی که بال بزرگتر در تماس با ستون قرار گیرد و یا به عبارت دیگر افزایش ارتفاع بال جوش شده نبشی به ستون، باعث افزایش مقاومت اتصال می گردد.

مراجع

- [1] Hadianfard, M.A., Baqherpoor, M.H. and Sharbati, R. (1392). Numerical Evaluation of the behaviour of the web angle connections in progressive collapse. *10th International Conference on Civil Engineering*, Zahedan, Iran.
- [2] Dusenberry, D., Cagley, J. and Aquino, w. (2004)., *National workshop on best practices guidelines for the mitigation of progressive collapse of buildings*, Case studies. Multihazard Mitigation Council, National Institute of Building Sciences (NIBS). Washington.
- [3] Popov, E.P. and Takhirov, S. (2002). Bolted large seismic steel beam-to-column connections Part 1: experimental study. *Engineering Structures*, 24, 1523–1534.
- [4] Hyun, C. and Krauthammer, T. (2009). Load–impulse characterization for steel connection. *International Journal of Impact Engineering*, 36, 737-745.
- [5] Lee, C.-H., Kim, S., Han, K.H., and Lee, K. (2009). Simplified nonlinear progressive collapse analysis of welded steel moment frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 65(5), 1130-1137.
- [6] Hadianfard, M.A. and Wassegh, M. (2012). Linear and nonlinear analysis of progressive collapse for seismic designed steel moment frames. *14th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, Jun 27-29, MOSCOW.
- [7] Wassegh, M., Hadianfard, M.A. and Soltani Mohammadi, M. (2012). Evaluation of progressive collapse potential of steel moment frames in different seismic zones of Iran. *9th International Conference on Civil Engineering*, Isfahan University of Technology (IUT), Isfahan, Iran.
- [8] Yang, B. and Tan, K.H. (2011). Numerical analyses of steel beam-column subjected to catenary action. *constructional steel reserch*, 70, 1-11.
- [9] Liu, C., Tan, K.H., and Fung, T. C. (2013). Dynamic behaviour of web cleat connections subjected to sudden column removal scenario. *Journal of Constructional Steel Research*, 86, 92-106.
- [10] Li, L., Wang, W., Chen, Y., and Lu, Y. (2015). Effect of beam web bolt arrangement on catenary behaviour of moment connections, *Journal of Constructional Steel Research*, 104, 22-36.
- [11] Yang, B. and Tan, K.H. (2013). Experimental tests of different types of bolted steel beam–column joints under a central-column-removal scenario. *Engineering Structures*, 54, 112-130.
- [12] Havaei, G.R. and Bayat, E. (2017). The structural response and manner of progressive collapse in RC buildings under the blast and Provide approaches to retrofitting columns against blast. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 4(1), ISN 10, Spring, 81-100.
- [13] ABAQUS (2014). *Analysis user's guide*. Dassault Systemes, Simulia Inc.
- [14] Namjoo, M. (2017). *Experimental and numerical study of steel welded connections against progressive collapse*. M.Sc. Dissertation, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran.
- [15] BCSA/SCI, (2002). *Joint in steel constuction-simple connection*. Steel Construction Institute, Ascot.
- [16] BCSA/SCI, (1995). *Joint in steel constuction-moment connection*. Steel Construction Institute, Ascot.
- [17] ASCE, (2002). *Minimum design loads for buildings and other structures*, American Society of Civil Engineers, Alexander Bell Drive, Reston, VA 20191 USA.