



University Of Qom



An Investigation on the Cyclic Behavior of I-Shaped Beam to Circular Column Moment Connections with Channel Link

Vahid Akrami¹ , Aryaz Adili² , Kazem Shakeri³ , Naseraldin Shahbazi⁴

1. Corresponding author, Associate Professor, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: v.akrami@uma.ac.ir
2. M.Sc. Graduate, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: aryaz.ad1995@gmail.com
3. Professor, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: shakeri@uma.ac.ir
4. Assistant Professor, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: n_shahbazi@uma.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 28 May 2023
Revised 28 Aug 2023
Accepted 09 Sep 2023

Keywords:
I-shaped Beam,
Circular Column,
Channel Link,
Cyclic Behavior,
Stiffener,
Finite Element Analysis.

ABSTRACT

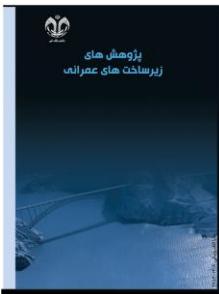
The I-shaped beam to circular column connections can be constructed by curved cutting of the beam flanges or by installing external diaphragms around the column, which cause both economic and practical difficulties. A practical method proposed for construction of these connections consists of welding a link channel to the circular column and welding the beam to the link channel. As this method is new, the effect of link channel dimensions, I-shaped beam section dimensions, circular column dimensions and the link channel stiffeners on the connection behavior is not known well. Accordingly, this paper presents a FE investigation on the cyclic behavior of I-shaped beam to circular column moment connections with link channel. The main novelty of the research is the parametric evaluation of the affecting parameters, considering the stiffness and strength degradation from ultra-low-cycle fatigue, which is made possible by including ductile damage for metallic materials in ABAQUS software. For this purpose, first, the parameters of the damage model are calibrated by comparing the numerical results with the laboratory data, and then, the connection models are analyzed under a displacement-control quasi-static cyclic loading. Based on the results, the thickness of the link channel plate has the most significant effect on the overall behavior of the connection compared to other link parameters. It is also observed that the link channel stiffeners increase overall stiffness and strength of the connection. However, they cause extension of yielding towards the beam to link connection, and cause rapid growth of plastic strain in this area.

Cite this article: Akrami, Vahid., Adili, Aryaz., Shakeri, Kazem., & Shahbazi, Naseraldin. (2023). An Investigation on the Cyclic Behavior of I-Shaped Beam to Circular Column Moment Connections with Channel Link. *Civil Infrastructure Researches*, 9(2), 141-161. <https://doi.org/10.22091/cer.2023.9497.1485>



Publisher: University of Qom.
© The Authors.

<https://doi.org/10.22091/cer.2023.9497.1485>



پژوهش‌های زیرساخت‌های عمرانی



دانشگاه قم

شاپا الکترونیکی: ۱۴۰۰-۲۷۸۳

صفحه خانگی مجله: <https://cer.qom.ac.ir/>

بررسی رفتار چرخهای اتصال خمثی تیر I شکل به ستون دایره‌ای با پیوند ناودانی

وحید اکرمی^{۱*}، آریاز عدیلی^۲، کاظم شاکری^۳، ناصرالدین شاهبازی^۴

۱. نویسنده مسئول، دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: v.akrami@uma.ac.ir
۲. کارشناس ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: aryaz.ad1995@gmail.com
۳. استاد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: shakeri@uma.ac.ir
۴. استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: n_shahbazi@uma.ac.ir

چکیده

اتصال خمثی تیر I شکل به ستون دایره‌ای، با استفاده از برش منحنی بال تیر و یا با استفاده از نصب دیافراگم‌های خارجی در اطراف ستون میسر می‌باشد که با مشکلات اجرایی همراه است. روش پیشنهادی جدید برای اجرای این نوع اتصال، جوش نمودن بال‌های یک پیوند ناودانی به ستون و جوش نمودن تیر به جان ناودانی می‌باشد. با توجه به نوبودن این روش، تأثیر ابعاد پیوند ناودانی بر رفتار ابعاد تیر I شکل و ابعاد ستون دایره‌ای و همچنین سخت‌کننده‌های داخل پیوند ناودانی بر رفتار چرخهای اتصال، محل سؤال می‌باشد. در همین راستا، مقاله حاضر به بررسی رفتار چرخهای اتصال خمثی تیر I شکل به ستون دایره‌ای با پیوند ناودانی به صورت المان محدود می‌پردازد. عمدۀ نواوری این تحقیق، بررسی پارامتریک مشخصات ابعادی اتصال در حضور خستگی کم‌تکرار ناشی از زوال سختی و مقاومت چرخهای می‌باشد که از طریق لحاظ مدل آسیب برای مصالح شکل‌پذیر در نرم‌افزار آباکوس میسر شده است. برای این کار، ابتدا پارامترهای مدل آسیب از طریق مقایسه نتایج عددی حاصل از شبیه‌سازی اتصال با داده‌های آزمایشگاهی کالیبره شده و در ادامه، نمونه‌های عددی تحت بارگذاری چرخهای جابه‌جایی - کنترل به صورت استاتیکی قرار گرفته‌اند. براساس مقایسه نتایج، ضخامت جان پیوند ناودانی، بیشترین تأثیر بر رفتار اتصال نسبت به سایر پارامترهای ناودانی را دارد. همچنین ملاحظه شد که با افزودن سخت‌کننده در داخل پیوند ناودانی، سختی و مقاومت اتصال افزایش می‌یابد، با این حال، در این حالت نواحی تسليم شده به سمت اتصال تیر به ناودانی گسترش پیدا می‌نماید که این مسئله باعث رشد سریع‌تر کرنش‌های پلاستیک در این نواحی می‌شود.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸

کلیدواژه‌ها:

تیر I شکل،
ستون دایره‌ای،
پیوند ناودانی،
رفتار چرخهای،
سخت‌کننده،
تحلیل المان محدود.

استناد: اکرمی، وحید؛ عدیلی، آریاز؛ شاکری، کاظم؛ و شاهبازی، ناصرالدین. (۱۴۰۲). بررسی رفتار چرخهای اتصال خمثی تیر I شکل به ستون دایره‌ای با پیوند ناودانی. *پژوهش‌های زیرساخت‌های عمرانی*, ۲۹(۱)، ۱۴۱-۱۶۱.

<https://doi.org/10.22091/cer.2023.9497.1485>



۱- مقدمه

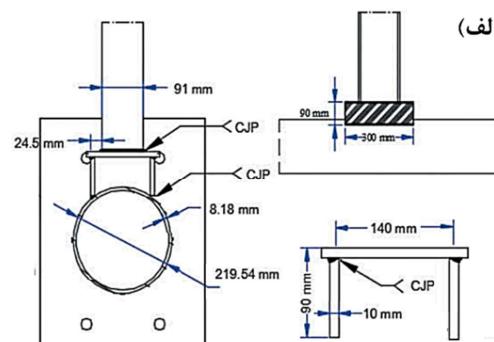
قابل حصول می‌باشد. پیکربندی کلی این اتصال در شکل ۱ نشان داده شده است. سهولت اتصال تیرها به ستون در جهات متقاطع، سهولت اجرا برای حالت با ارتفاع تیر متغیر در طرفین ستون، امکان اجرا بدون قطع یا برش ستون و همچنین توزیع مناسب تغییرشکل‌ها بر روی جداره ستون در مقایسه با اتصال مستقیم بالهای تیر به ستون، از جمله برتری‌های این روش نسبت به سایر گزینه‌ها می‌باشد. در این تحقیق، رفتار چرخهای اتصال خمثی تیر آشکل به ستون دایره‌ای با پیوند ناودانی به صورت پارامتریک بررسی شده است. برای این منظور، اتصال موردنظر به صورت عددی در نرمافزار آباکوس مدل‌سازی شده و تأثیر پارامترهای هندسی مختلف اتصال بر رفتار چرخهای آن بررسی خواهد شد. به منظور لحاظ زوال سختی و مقاومت ناشی از خستگی چرخهای، از مدل آسیب در شبیه‌سازی‌های عددی استفاده شده است.



شکل ۱- اتصال مورد بررسی توسط تحملی رودسری و همکاران [۴]، (الف) شکل شماتیک و (ب) نمونه آزمایشگاهی

به ستون فولادی پر شده با بتن مرکز می‌باشد [۸]. به عنوان مثال، الرمیلی و عزیزی^۱، ترکیبی از تحلیلهای عددی و تست‌های آزمایشگاهی را برای ارائه روابط طراحی اتصالات تیر به ستون استوانه‌ای پر شده از بتن به انجام رسانده‌اند [۹ و ۱۰]. همچنین، چنگ و همکاران^۲، تحقیق مشابهی را بر روی اتصالات تقویت شده با یک دیافراگم خارجی که برای انتقال نیروهای کشش و فشار بال تیر تعییه شده بودند، انجام دادند [۱۱]. محققان دیگر نیز

اتصالات خمثی فولادی که در آیین‌نامه‌های طراحی موجود می‌باشند، برای ستون‌های آشکل بال پهن یا قوطی مناسب می‌باشند [۱]. در اتصال خمثی تیر آشکل به ستون دایره‌ای، امکان ایجاد صفحات پیوستگی یا تقویتی (دوبلر) در ستون وجود ندارد و بنابراین این نوع اتصال می‌تواند با مشکلات اجرایی مواجه شود [۲]. انجام این کار در حال حاضر با استفاده از برش منحنی بال تیر و یا با استفاده از نصب دیافراگم‌های خارجی در اطراف ستون میسر می‌باشد که با مشکلاتی همراه است [۳]. در سال‌های اخیر، جزئیات جدیدی برای اتصال خمثی تیر آشکل به ستون دایره‌ای ارائه شده است که از لحاظ اجرایی مناسب بوده و پیاده‌سازی آن راحت می‌باشد [۴]. این نوع اتصال از طریق جوش نمودن بالهای یک پیوند از نوع ناودانی به ستون و جوش نمودن تیر به جان ناودانی



شکل ۱- اتصال مورد بررسی توسط تحملی رودسری و همکاران [۴]

۲- پیشینه تحقیق

حفظ عملکرد سازه‌ها در زلزله نقش مهمی در تأمین ایمنی و کاهش خسارات ناشی از زلزله دارد [۵ و ۶]. در این میان، رفتار اتصالات نقش مهمی بر رفتار کلی سازه خواهد داشت. اتصال گیردار تقویت نشده جوشی یکی از متدائل‌ترین انواع اتصالات گیردار فولادی در قاب‌های خمثی است [۷]. مطالعات متعددی بر روی اتصالات خمثی تیر به ستون دایره‌ای و رفتار سازه‌های آنها انجام شده است. با توجه به محبوبیت ستون‌های فولادی پر شده با بتن، بخشی از این تحقیقات بر روی اتصال تیر

^۱- Elremaily and Azizi

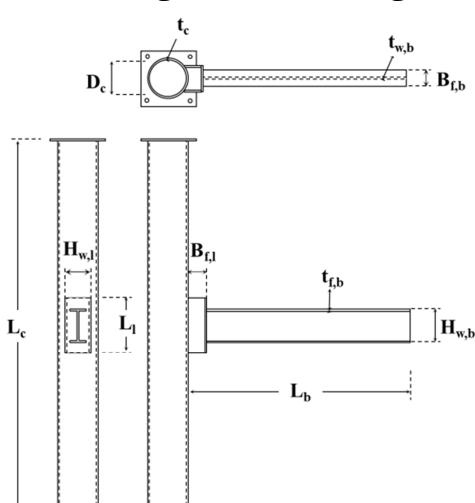
تأثیر مواردی نظیر ابعاد پیوند ناودانی، ابعاد تیر I-شکل و ابعاد ستون دایره‌ای و همچنین سخت‌کننده‌های داخل پیوند ناودانی را بر رفتار آن بررسی می‌نماید. بررسی پارامتریک مشخصات ابعادی اتصال در حضور خستگی کم‌تکرار ناشی از زوال سختی و مقاومت چرخه‌ای را می‌توان به عنوان نوآوری تحقیق حاضر ذکر نمود که این امر از طریق لحاظ مدل آسیب برای مصالح شکل‌پذیر در نرم‌افزار آباکوس میسر شده است.

۳- جزئیات مدل‌سازی عددی

در مطالعه حاضر، یک نمونه اتصال خمثی تیر I-شکل به ستون دایره‌ای با پیوند ناودانی در نرم‌افزار آباکوس تعریف شده و تأثیر پارامترهای مختلف بر رفتار چرخه‌ای آن مورد مطالعه قرار گرفته است. فرضیات مورد استفاده در مدل‌سازی در بندهای آتی ارائه گردیده است.

۳-۱- مشخصات هندسی نمونه‌ها

هندسه نمونه‌های مورد بررسی در تحقیق حاضر در شکل ۲ نمایش داده شده است. پیکربندی اتصال مورد بررسی در این تحقیق مبتنی بر تست‌های انجام شده توسط تحملی رودسری و همکاران می‌باشد [۴].



شکل ۲- مشخصات هندسی نمونه‌های مورد بررسی

مشخصات هندسی تیر از جمله طول، عمق مقطع، عرض بال، ضخامت بال و ضخامت جان، مشخصات

مطالعاتی را در زمینه اتصالات تیر به ستون استوانه‌ای پر شده از بتون ارائه نموده‌اند. براساس نتایج این تحقیقات، در اغلب موارد با توجه به مقاومت بالای ستون‌های پر شده با بتون، مفصل پلاستیک این اتصالات در تیر ایجاد شده و محلی که در آن بال کششی تیر به ستون متصل است، در معرض پاره‌گی قرار می‌گیرد.

به موازات این تحقیقات، بررسی‌هایی نیز در راستای ارائه روش‌های نوین برای اجرای اتصالات خمثی تیر به ستون دایره‌ای توخالی و بررسی رفتار آن انجام شده است [۱]. به عنوان مثال، یکی از روش‌های نوین برای اجرای این نوع اتصال، مبتنی بر برش لیزری دیواره ستون دایره‌ای برای عبور مقطع I-شکل از داخل آن می‌باشد که توسط محققین مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است [۳، ۱۴ و ۱۵]. نمونه دیگری از این روش‌ها، استفاده از نصب دیافراگمهای خارجی در اطراف ستون برای اتصال و انتقال نیروهای تیر می‌باشد [۱۶ و ۱۷]. در یک سری تحقیق عددی-آزمایشگاهی، جزئیات جدیدی برای اتصال خمثی تیر I-شکل به ستون دایره‌ای توسط تحملی رودسری و همکاران ارائه شده است. این اتصال که از طریق جوش نمودن بالهای یک پیوند ناودانی به ستون و جوش نمودن تیر به جان ناودانی صورت می‌گیرد، از لحاظ اجرایی مناسب بوده و پیاده‌سازی آن راحت می‌باشد. براساس نتایج گزارش شده در این تحقیقات، در اتصال جوشی تیر I-شکل به ستون دایره‌ای خرابی اتصال از نوع ترد و در دریفت‌های پایین می‌باشد [۲، ۴ و ۱۸]. این در حالی است که در اتصال تیر I-شکل به ستون دایره‌ای از طریق پیوند ناودانی، خرابی اتصال در دریفت‌های بالا اتفاق افتاده و بنابراین شکل‌پذیری اتصال بیشتر می‌باشد. با توجه به نوبودن ایده اتصال مذکور و نیاز به تحقیقات بیشتر بر روی رفتار آن، مقاله حاضر به بررسی رفتار چرخه‌ای این اتصال به صورت المان محدود پرداخته و

²- Cheng

ضخامت بال، عرض بال، ارتفاع مقطع و ضخامت جان برای مدل مرجع در جدول ۱ ذکر شده است.

هندرسی ستون از جمله طول، عمق مقطع و ضخامت جداره و همچنین مشخصات پیوند ناودانی شامل طول،

جدول ۱- مشخصات هندسی تیر I‌شکل، ستون دایره‌ای و پیوند ناودانی

نام مقطع	طول عضو (cm)	عمق مقطع (cm)	ضخامت جان (cm)	عرض بال (cm)	ضخامت بال (cm)	نسبت لاغری جان	نسبت لاغری بال
تیر I‌شکل	L _b =۱۱۲,۵	H _{w,b} =۱۸,۰	t _{w,b} =۰,۵۳	B _{f,b} =۹,۱	t _{f,b} =۰,۸	H _{w,b} /t _{w,b} =۳۴	B _{f,b} /2t _{f,b} =۵,۷
ستون دایره‌ای	L _c =۲۰۰	D _c =۲۱,۹۵	t _c =۰,۸۱۸	-	-	D _c /t _c =۲۶,۸	-
پیوند ناودانی	L _i =۳۰,۰	H _{w,i} =۱۴,۰	t _{w,i} =۱,۰	B _{f,i} =۹,۰	t _{f,i} =۱,۰	H _{w,i} /t _{w,i} =۱۴	B _{f,i} /t _{f,i} =۹

از روش کرنش بحرانی اصلاح شده با تنش (SMCS) استفاده شده است.

جدول ۲- مشخصات مصالح فولادی در مدل سازی [۴]

محل نمونه گیری	مدول الاستیسیته (GPa)	تنش تسليم (MPa)	تنش نهایی (MPa)
بال تیر	۱۸۹	۳۳۱	۵۴۳
جان تیر	۱۷۹	۳۰۱	۴۹۴
مصالح ستون	۱۹۵	۳۳۰	۵۵۶
مصالح ناودانی	۱۹۵	۲۲۲	۳۸۶

در این روش، ارتباط بین کرنش بحرانی و نسبت تنش سه محوره به صورت زیر بیان می‌شود [۲۰]:

$$\varepsilon_p^{critical} = \alpha \exp(-1.5T) \quad (1)$$

$$T = \frac{\sigma_m}{\sigma_e} \quad (2)$$

در این رابطه، $\varepsilon_p^{critical}$ کرنش پلاستیک معادل بحرانی، T نسبت تنش سه محوره، σ_m تنش میانگین، σ_e تنش مؤثر و α پارامتر آسیب بوده که وابسته به نوع مصالح فولادی می‌باشد. با تعیین پارامتر α برای فولاد مصرفی، می‌توان ارتباط بین کرنش بحرانی و نسبت تنش سه محوره را تعیین نمود. بدین ترتیب، در روند تحلیل بسته به میزان نسبت تنش سه محوره در هر نقطه انگرال‌گیری (مان)، مقدار کرنش بحرانی مربوطه محاسبه و با کرنش المان مقایسه می‌گردد. در صورت فراتر رفتن کرنش در نقطه انگرال‌گیری از این مقدار، فرآیند آسیب در المان مربوطه فعال شده و المان از فضای

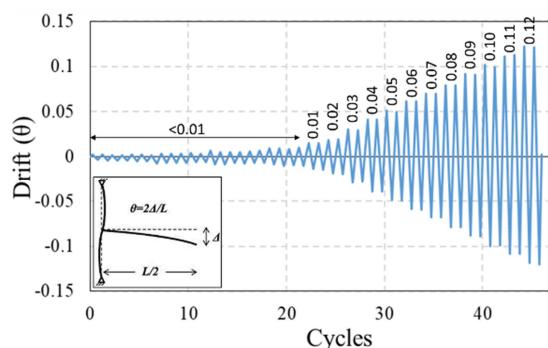
با توجه به اینکه در بخش‌های آتی تأثیر هر کدام از این پارامترهای هندسی بر رفتار اتصال مطالعه خواهد شد، در این بررسی‌ها مبنای هر پارامتر مقدار ذکر شده در جدول بوده و مقادیر کمتر و بیشتر از مقدار مبنا در محدوده کاربردی و به صورت پارامتریک در نظر گرفته شده است.

۲-۳- مشخصات مکانیکی مصالح مورد استفاده

در شبیه‌سازی مدل‌های المان محدود، هر دو نوع رفتار غیرخطی هندسی و مصالح در نظر گرفته شده است. ضریب پواسون مصالح فولادی در مدل‌سازی‌ها برابر با $0/۳$ لحاظ شده است. مقدار مدول الاستیسیته، تنش تسليم و تنش نهایی برای مصالح فولادی در نقاط مختلف نمونه مطابق با تحقیقات تحملی روتسی و همکاران انتخاب شده است [۴]. مقادیر یاد شده در جدول ۲ گزارش شده است. برای مدل‌سازی سخت‌شوندگی مصالح از مدل ترکیبی ایزوتروپیک- کینماتیک استفاده شده است. برای شبیه‌سازی خرابی در مصالح فولادی اتصالات مورد بررسی، از مدل آسیب شکل‌پذیر در نرمافزار آبکوس استفاده شده است. معیار آسیب شکل‌پذیر مدلی برای پیش‌بینی آسیب مربوط به پیدایش ریز‌حفره‌ها، رشد و به هم پیوستن آنها در فلزات شکل‌پذیر است. در این مدل فرض می‌شود کرنش پلاستیک معادل در مدل آسیب، تابعی از نسبت تنش سه محوره و نرخ کرنش است. برای تعیین ارتباط بین کرنش بحرانی و نسبت تنش سه محوره

۴-۳- بارگذاری نمونه‌های المان محدود

مطابق شکل ۳- ب، بارگذاری نمونه‌های المان محدود به صورت اعمال جابه‌جایی در قسمت انتهای تیر بوده است. تاریخچه بارگذاری اعمال شده به نمونه‌ها مطابق برنامه تست مورد استفاده توسط تحملی رودسری و همکاران بوده است، که در شکل ۴ نمایش داده شده است. مطابق شکل، دوران اتصال یا دریفت معادل قاب، از تقسیم جابه‌جایی انتهای تیر بر طول آن (فاصله انتهای تیر تا مرکز ستون) قابل محاسبه می‌باشد [۴].



شکل ۴- تاریخچه بارگذاری اعمال شده به نمونه‌ها مطابق تحقیقات تحملی رودسری و همکاران [۴]

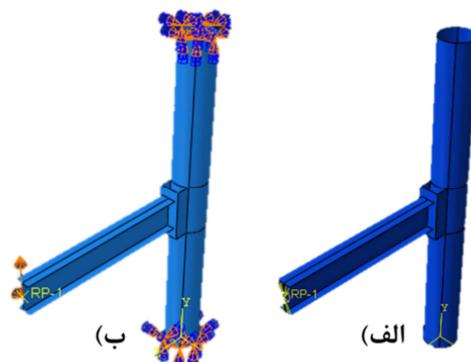
۵-۳- مشبندی نمونه‌های المان محدود

برای مشبندی مدل‌های المان محدود، از المان پوسته ۴ گرهی با انتگرال‌گیری کاهش یافته (S4R) استفاده شده است. به طور کلی، در تحلیل‌های عددی با انتخاب اندازه مش درشت، دقت جواب‌ها کاهش می‌یابد. این در حالی است که اگر اندازه مش خیلی ریز در نظر گرفته شود، دقت افزایش یافته ولی در عوض حجم محاسبات نیز به شدت افزایش می‌یابد. بنابر مطالعات پیشین بر روی اتصال مشابه (اکرمی و عرفانی [۱۹]) در صورتی که اندازه المان‌ها در نقاط مختلف مدل برابر با ۲۰ میلی‌متر باشد، می‌توان هم از لحاظ دقت محاسبات و هم از نظر زمان تحلیل به شرایطی نسبتاً بهینه رسید. نحوه مشبندی مورد استفاده برای مدل‌های المان محدود تحقیق حاضر در شکل ۵ نمایش داده شده است.

تحلیل حذف می‌گردد که این مسئله کاهش سختی و مقاومت کلی مدل را در پی خواهد داشت. توضیحات مربوط به کالیبراسیون این مدل خرابی (محاسبه پارامتر α) برای نمونه‌های مورد بررسی در بند ۳-۶-۲ شده است.

۳-۳- قیدها و شرایط تکیه‌گاهی

در مدل‌های مورد مطالعه، اتصال تیر به پیوند ناودانی و اتصال پیوند ناودانی به ستون از نوع اتصال چسباندن^۳ بوده است. برای ایجاد شرایط مفصلی در نوک تیر و آماده‌سازی آن برای بارگذاری، تمامی گره‌ها در نوک تیر به یک نقطه کنترل کوپل شده است (شکل ۳- الف). برای ایجاد شرایط تکیه‌گاهی گیردار در بالا و پایین ستون (مطابق برنامه تست توسط تحملی رودسری و همکاران [۴]), تمامی درجات آزادی موجود در گره‌های این مقاطع بایستی مقید شوند تا از حرکت آن‌ها جلوگیری شود (شکل ۳- ب). به این ترتیب شرایط تکیه‌گاهی در بالا و پایین ستون به صورت گیردار و در انتهای تیر به صورت مفصلی غلتکی خواهد بود. علاوه بر این، به منظور جلوگیری از عملکرد برون صفحه اتصال، جابه‌جایی نمونه در جهت خارج از صفحه برابر با صفر لحاظ شده است.



شکل ۳- ایجاد قیدها در مدل المان محدود؛ (الف) نحوه انجام کوپلینگ و (ب) نحوه بارگذاری و شرایط تکیه‌گاهی

^۳- Merge

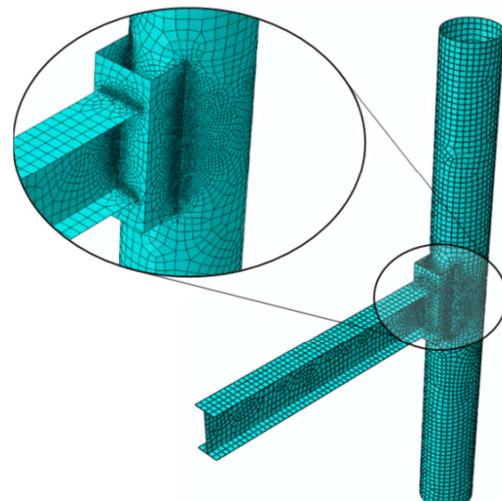
فرآخوانی شده و با عددی تصادفی بین ۰/۱-۰/۱ تا ۰/۱ میلیمتر جمع و دوباره به عنوان مختصات گره تعریف شده است.

۳-۶- صحت‌سنجی نمونه‌های عددی

۳-۶-۱- نمونه آزمایشگاهی

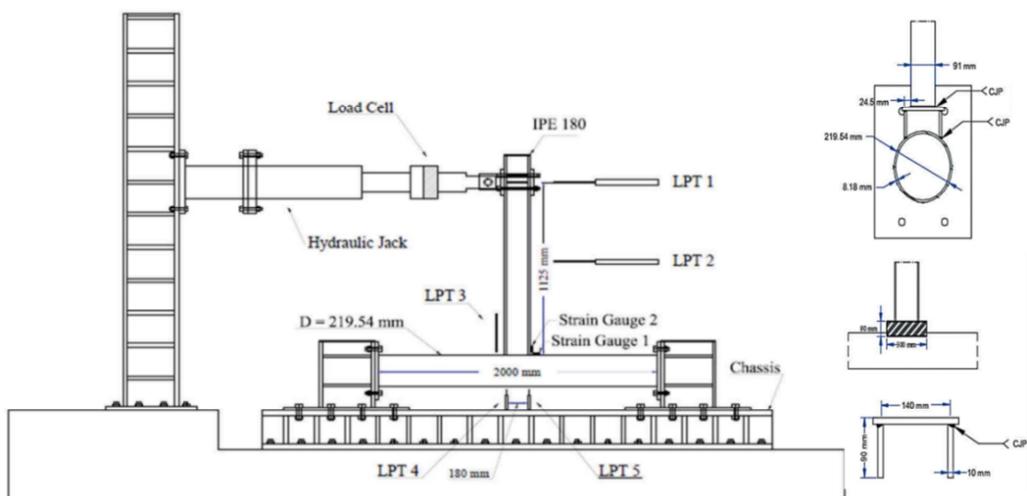
مدل آزمایشگاهی مورد استفاده برای صحت‌سنگی نمونه‌های عددی این تحقیق مربوط به کار تحمیلی رو دسری و همکاران می‌باشد. در تحقیق مربوطه رفتار چرخه‌ای ۶ نمونه آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است [۴]. در این بخش، یکی از نمونه‌های آزمایشگاهی تحقیق یاد شده جهت صحت‌سنگی انتخاب شده است. هندسه نمونه آزمایشگاهی موردنظر در شکل ۶ و تاریخچه بارگذاری نمونه در شکل ۴ نمایش داده شده است. ابعاد تیر و ستون و پیوند اتصال در جدول ۱ ذکر شده است. همچنین مشخصات مکانیکی مصالح ستون، ناوданی، و گزارش شده است.

همانطور که در شکل مشخص است به منظور بررسی دقیق‌تر، سایز مشبندی در ناحیه اتصال ناودانی به لبه تیر و همچنین محل اتصال ناودانی به ستون دایره‌ای کوچک‌تر لحاظ شده است. ابعاد مشکلی، ۲۰ میلیمتر و ابعاد مش در ناحیه اتصال ناودانی به تیر و همچنین ناودانی به ستون ۲ میلیمتر، در نظر گرفته شده است.



شکل ۵- نحوه مشبندی مدل‌های المان محدود

برای ایجاد مدل ناکامل، مختصات هر گره با استفاده از یک نقص اولیه تصادفی با بیشنه دامنه ۰/۱ میلیمتر، تغییر یافته است. برای انجام این کار، پس از مشبندی، مختصات x , y و z هر گره توسط یک کد

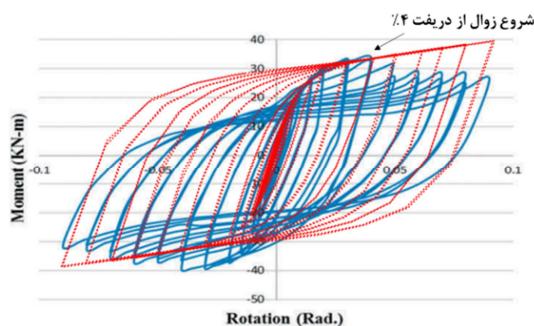


شکل ۶- پیکربندی نمونه آزمایشگاهی تست شده توسط تحملی، رودسری و همکاران [۴]

چنانچه گفته شد، برای شبیه‌سازی خرایی در مصالح فولادی اتصالات مورد بررسی، از مدل آسیب شکا بذیر دارم افزای آنکووس، استفاده شده است. د، این

۳-۶-۲- کالیبراسیون مدل خرابی مورد استفاده

دریفت ۴٪ در نمونه عددی فاقد مدل آسیب را نمایش می‌دهد.



شکل ۷- مقایسه رفتار چرخه‌ای نمونه عددی در غیاب مدل آسیب و نمونه آزمایشگاهی

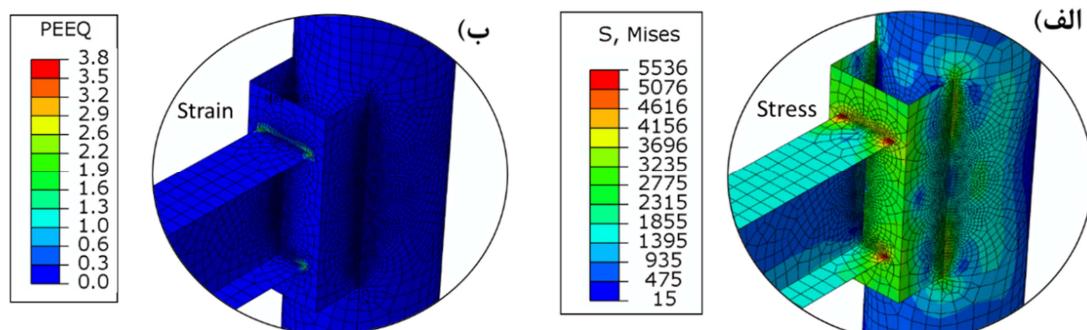
چنانچه ملاحظه می‌شود، عمدہ تنش و کرنش در نقاط گوشه محل اتصال بال تیر به پیوند ناودانی متمرکز می‌باشد. طبق گزارش آزمایش نیز شروع خرابی اتصال از این نقاط بوده است [۴]. به همین دلیل، تحت دریفت ۴٪ کرنش پلاستیک معادل و نسبت تنش سه محوره در نقطه بحرانی یاد شده تعیین شده است.

شکل ۹، تاریخچه نسبت تنش سه محوره و کرنش پلاستیک معادل در نقطه بحرانی مدل عددی را نمایش می‌دهد. با توجه به شکل، می‌توان ملاحظه نمود که مقدار این دو پارامتر در دریفت ۴ درصد به ترتیب ۰,۵۳ و ۳,۸۵ می‌باشد.

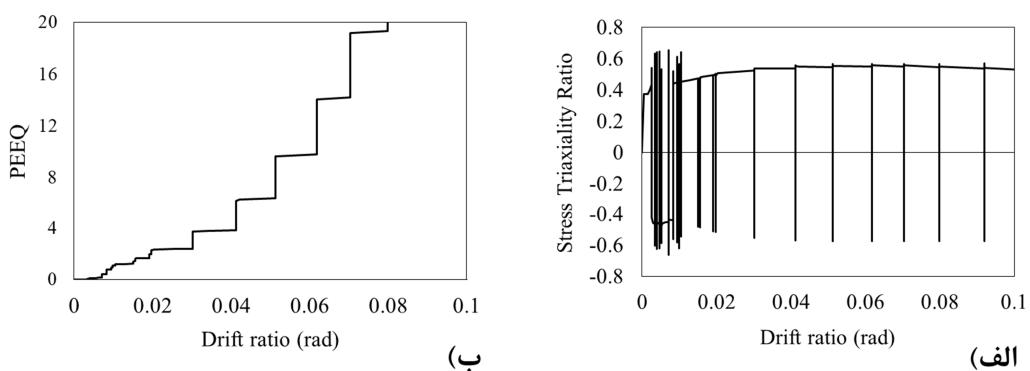
با توجه به مطالعه عنوان شده و جایگذاری اعداد مذکور در رابطه (۱)، مقدار پارامتر α را می‌توان برابر با ۰,۵۳ محاسبه نمود.

مدل خرابی، ارتباط بین کرنش بحرانی و نسبت تنش سه محوره از طریق رابطه (۱) مشخص می‌گردد. در این رابطه، α پارامتر آسیب می‌باشد که وابسته به نوع مصالح فولادی بوده و قبل از انجام تحلیل‌ها بایستی توسط داده‌های آزمایشگاهی کالیبره گردد. از آنجا که در شروع کار، مقدار این پارامتر مشخص نمی‌باشد، در مدل‌سازی اولیه نمی‌توان از مدل آسیب استفاده نمود. بنابراین در مرحله نخست، نمونه تست شده توسط تحملی رودسری و همکاران بدون لحاظ مدل آسیب شبیه‌سازی شده و تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفته است [۴]. در ادامه، با مراجعه به سیکل بارگذاری که مطابق داده‌های آزمایشگاهی، زوال سختی و مقاومت از آن سیکل آغاز critical شده است و استخراج کرنش پلاستیک، ϵ_p^c و نسبت تنش سه محوره، T مربوطه در بحرانی‌ترین المان (المان با بیشترین کرنش پلاستیک)، می‌توان مقدار پارامتر α را از رابطه (۱) محاسبه و در مدل‌سازی‌ها استفاده نمود. مقایسه رفتار چرخه‌ای نمونه عددی در غیاب مدل آسیب و نمونه آزمایشگاهی در شکل ۷ نشان داده شده است. مطابق شکل، ملاحظه می‌شود که نمودار عددی فاقد شاخه زوال مقاومت می‌باشد. این در حالی است که نمودار آزمایشگاهی پس از دریفت ۴٪ دچار زوال مقاومت شده است.

با توجه به نتایج مطرح شده، توزیع تنش‌ها و کرنش‌ها تحت دریفت ۴٪ در مدل عددی مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۸، کانتورهای تنش و کرنش تحت

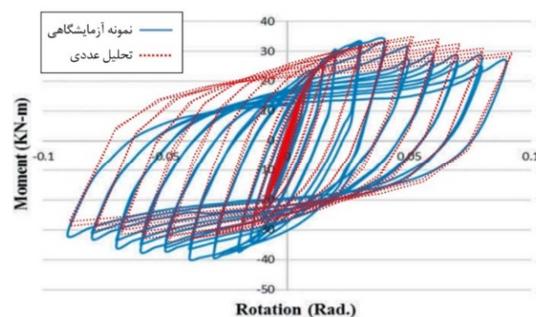


شکل ۸- کانتورهای تنش و کرنش تحت دریفت ۴٪ در نمونه فاقد مدل آسیب، (الف) کانتور کرنش و (ب) کانتور کرنش



شکل ۹- تاریخچه تنش و کرنش در نمونه فاقد مدل آسیب، (الف) نسبت تنش سه محوره و (ب) کرنش پلاستیک معادل

آزمایشگاهی و منحنی عددی انطباق قابل قبولی موجود می‌باشد.



شکل ۱۱- مقایسه رفتار چرخهای نمونه عددی در حضور مدل آسیب و نمونه آزمایشگاهی

۴- نتایج و یافته‌های پژوهش

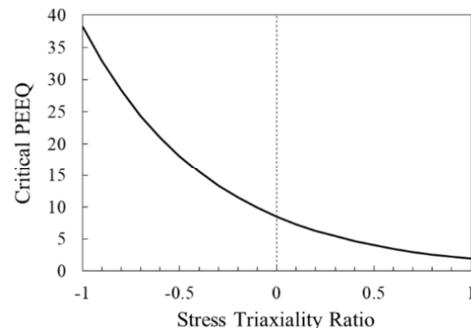
۴-۱- بررسی تأثیر پارامترهای پیوند ناودانی

۴-۱-۱- بررسی تأثیر ضخامت بال پیوند ناودانی

در این بخش، تأثیر ضخامت بال پیوند ناودانی بر رفتار چرخهای نمونه‌های عددی بررسی شده است. برای این کار، علاوه بر نمونه مرجع، سه نمونه دیگر با سه مقدار متفاوت برای ضخامت بال ناودانی در نرمافزار المان محدود مدل‌سازی و تحلیل شده است. نتایج حاصل از تحلیل‌های یاد شده به صورت نمودار چرخهای در شکل ۱۲ ارائه شده است. با توجه به این نمودارها، نمونه مورد بررسی تقریباً تا دریفت ۰.۱٪ دارای رفتار الاستیک بوده است. پس از این مرحله، بخش‌هایی از مدل عددی پلاستیک شده و رفتار اتصال وارد ناحیه سخت‌شوندگی شده است. با توجه به شکل ۱۳ که توزیع تنش‌های مایسز

بدین ترتیب ارتباط بین کرنش بحرانی و نسبت تنش سه محوره در مدل‌های عددی تحقیق حاضر به صورت رابطه (۳) بیان می‌شود که ترسیم آن را می‌توان در شکل ۱۰ ملاحظه نمود:

$$\varepsilon_p^{critical} = 8.53 \exp(-1.5T) \quad (3)$$

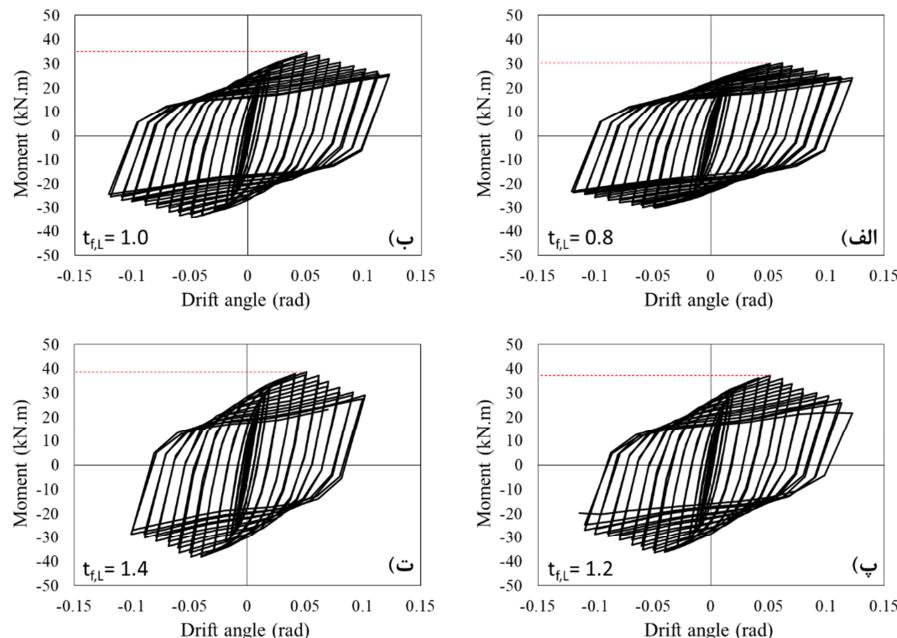


شکل ۱۰- ارتباط بین کرنش بحرانی و نسبت تنش سه محوره در مدل‌های عددی تحقیق حاضر

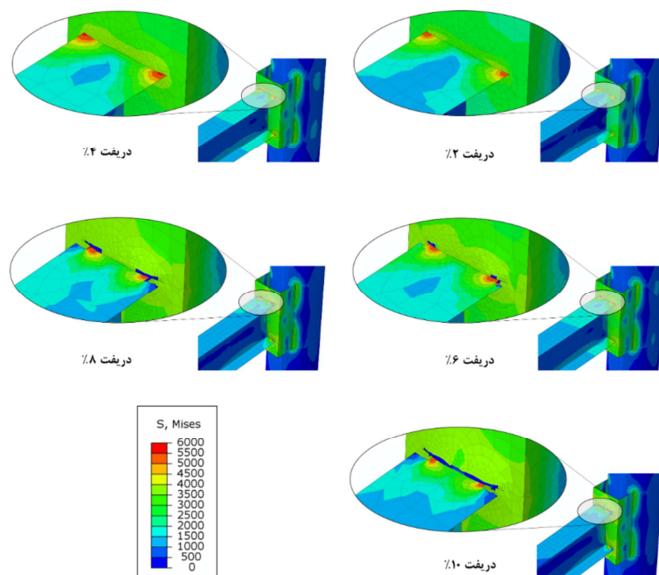
۴-۲- صحبت‌سنجدی نمونه دارای مدل خرابی

به منظور صحبت‌سنجدی، منحنی‌های دوران- لنگر نمونه آزمایشگاهی با منحنی متناظر حاصل از شبیه‌سازی عددی با لحاظ مدل آسیب مقایسه شده است. در شکل ۱۱، منحنی قرمز رنگ مربوط به تحلیل عددی مطالعه حاضر و منحنی آبی رنگ مربوط به نمونه آزمایشگاهی تحملی روتسی و همکاران می‌باشد [۴]. با در نظر داشتن اینکه نمی‌توان تمامی شرایط آزمایشگاهی را به‌طور دقیق در نرمافزار اعمال کرد و همچنین با در نظر گرفتن خطاهای عددی و آزمایشگاهی، می‌توان ملاحظه نمود که تحلیل اجزای محدود تا حد قابل قبولی توانسته منحنی نمونه آزمایشگاهی را پیش‌بینی نماید و بین منحنی

شکل، با افزایش دریفت، شاخص خستگی در گوشه‌های اتصال تیر به پیوند ناودانی از حد بحرانی فراتر رفته و المان‌ها یکی پس از دیگری شروع به حذف شدن از مدل عددی نموده‌اند.



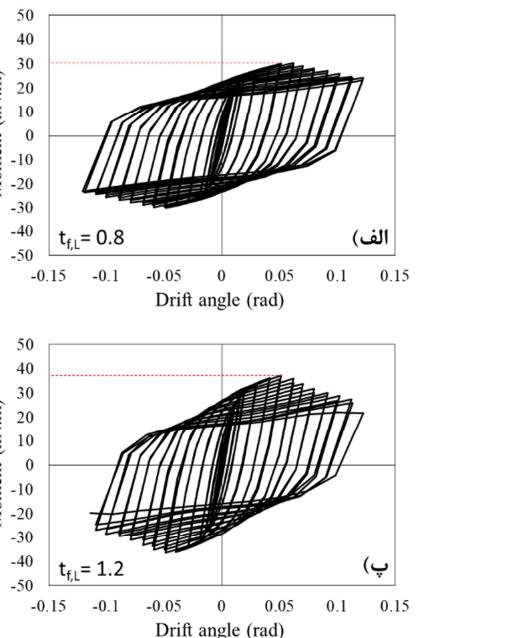
شکل ۱۲- نمودارهای چرخه‌ای مربوط به ضخامت بال پیوند ناودانی، (الف) ضخامت بال 0.8 cm ، (ب) ضخامت بال 1.0 cm ، (پ) ضخامت بال 1.2 cm و (ت) ضخامت بال 1.4 cm



شکل ۱۳- توزیع تنش‌های مایسز در ناحیه اتصال نمونه مرجع در طول تحلیل

ناحیه اتصال به پیوند ناودانی در دریفت‌های بالا کاملا مشهود می‌باشد. گفتنی است که با بروز پاره‌گی در اتصال، تحلیل متوقف شده و نمودار چرخه‌ای قطع شده است. در

در ناحیه اتصال نمونه مرجع را در طول تحلیل نمایش می‌دهد، در این محدوده، دریفت (قریباً تا 4%) نواحی پلاستیک عمده‌ای در اطراف اتصال تیر به پیوند ناودانی و اتصال پیوند ناودانی به ستون مرکز بوده‌اند. مطابق این



شکل ۱۴- نمودارهای چرخه‌ای مربوط به ضخامت بال پیوند ناودانی، (الف) ضخامت بال 0.8 cm و (ب) ضخامت بال 1.0 cm

این مسئله با افت سختی و مقاومت در نمودارهای شکل ۱۲ و شروع شاخه نزولی نمودار قابل تشخیص است. با توجه به نمودارهای شکل ۱۳ بروز پاره‌گی بال تیر در

جدول مشخص است، با افزایش ضخامت بال پیوند ناودانی به تدریج میزان سختی اولیه اتصال هم افزایش پیدا کرده است.

ادامه، پارامترهای رفتاری نمونه‌ها در جدول ۳ خلاصه شده و درصد تغییرات نسبت به نمونه با کمترین ضخامت بال پیوند ناودانی سنجیده شده است. همانطور که در

جدول ۳- مقادیر خروجی نمونه‌های عددی نشان‌دهنده تأثیر ضخامت بال پیوند ناودانی

شكل‌پذیری		دریفت نهایی		دریفت متناظر ظرفیت نهایی		ظرفیت نهایی		دریفت تسليم		ظرفیت تسليم		سختی اولیه		ضخامت بال پیوند ناودانی	
تغییر (%)	مقدار	تغییر (%)	مقدار (rad)	تغییر (%)	مقدار (rad)	تغییر (%)	مقدار (kN.m)	تغییر (%)	مقدار (rad)	تغییر (%)	مقدار (kN.m)	تغییر (%)	مقدار (kN.m/rad)	نسبت $B_{f,l}/t_{f,l}$	(cm)
صفر	۱۳/۰۷	صفر	۰/۱۱۲۳	صفر	۰/۰۵۰۷	صفر	۳۰/۲۹	صفر	۰/۰۰۸۶	صفر	۲۱/۱۳	صفر	۲۴۶۰	۱۱/۲۵	۰/۸
-۱۴	۱۱/۲۱	-۱۱	۰/۰۹۹۹	-۱۷	۰/۰۴۲۲	۱۴	۳۴/۵۳	۳	۰/۰۰۸۹	۱۵	۲۴/۳۴	۱۱	۲۷۳۲	۹	۱/۰
-۲۲	۱۰/۱۷	-۲۱	۰/۰۸۸۶	-۱۷	۰/۰۴۲۲	۲۳	۳۷/۳۲	۱	۰/۰۰۸۷	۲۲	۲۵/۷۳	۲۰	۲۹۵۳	۷/۵	۱/۲
-۲۷	۹/۵۷	-۲۶	۰/۰۸۲۹	-۱۷	۰/۰۴۲۲	۲۸	۳۸/۷۷	۱	۰/۰۰۸۷	۲۹	۲۷/۱۷	۲۸	۳۱۳۷	۶/۴	۱/۴

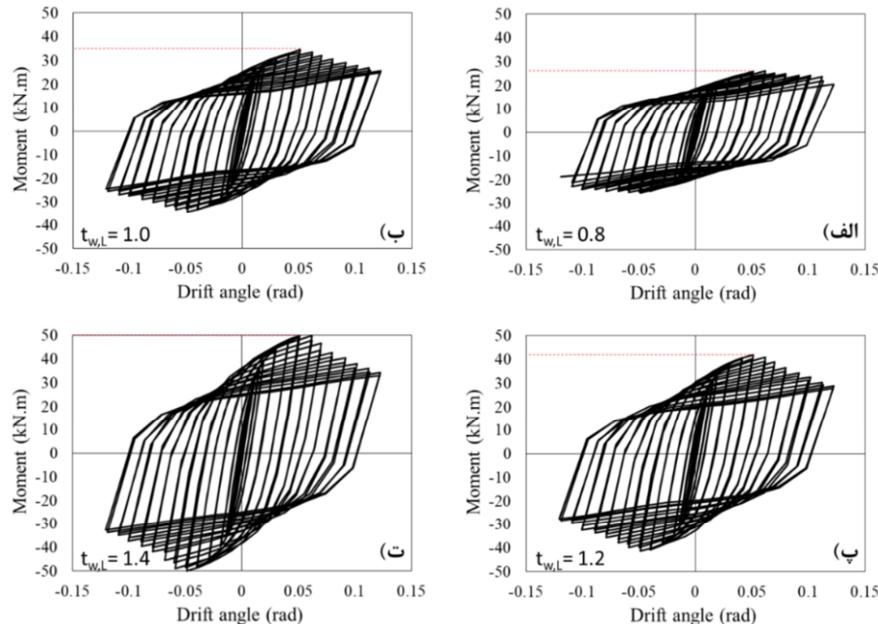
در این بخش، تأثیر ضخامت جان پیوند ناودانی بر رفتار چرخهای اتصال مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، سه اتصال دیگر علاوه بر نمونه مرجع با سه مقدار متفاوت برای ضخامت جان پیوند ناودانی مدل‌سازی و تحلیل شده است. نتایج حاصل از این تحلیل‌ها به صورت نمودار چرخهای در شکل ۱۴ قابل مشاهده می‌باشد. جدول ۴ نیز خلاصه‌ای از پارامترهای رفتاری این ۴ نمونه را ارائه می‌نماید. درصد تغییرات در این جدول با توجه به نمونه با کمترین ضخامت جان پیوند ناودانی محاسبه شده است. براساس نتایج به دست آمده، با افزایش ضخامت جان پیوند ناودانی از ۰/۸ به ۱/۴ سانتیمتر، مقدار سختی اولیه اتصال ۰/۸ به ۱/۴ سانتیمتر، ظرفیت نهایی اتصال ۹۱٪ افزایش یافته که مقدار زیادی است. با توجه به اینکه ورق جان پیوند ناودانی به طور مستقیم متصل به تیر بوده و لنگر وارد از سوی تیر را به صورت نیروهای فشاری و کششی مؤثر در محل بالهای تیر تحمل می‌نماید، بنابراین طبیعی است که یک رابطه مستقیم بین سختی و مقاومت اتصال با افزایش ضخامت جان پیوند ناودانی برقرار باشد. برخلاف این روند، ملاحظه می‌شود که با افزایش ضخامت جان پیوند ناودانی، از شکل‌پذیری و دریفت نهایی نمونه‌ها

طبق نتایج با افزایش ضخامت بال پیوند ناودانی از ۰/۸ به ۱/۴ سانتیمتر، مقدار سختی اولیه اتصال ۲۸٪ افزایش یافته است. مشابه سختی اولیه، با افزایش ضخامت بال پیوند ناودانی، مقدار ظرفیت نهایی اتصال به تدریج افزایش پیدا کرده است. در نتیجه، می‌توان گفت یک رابطه مستقیم بین ظرفیت نهایی و سختی اولیه با افزایش ضخامت بال پیوند ناودانی برقرار می‌باشد. با توجه به اینکه ورق‌های بال پیوند ناودانی به عنوان تکیه‌گاه‌های ورق جان عمل می‌نمایند، این افزایش سختی و مقاومت اتصال را می‌توان به افزایش گیرداری ورق جان پیوند ناودانی در اثر تقویت ورق‌های بال مرتبط دانست. از دیگر مقادیر کلیدی اتصالات مورد بررسی، پارامتر شکل‌پذیری (دریفت نهایی تقسیم بر دریفت تسليم) است. برای محاسبه این پارامتر، مطابق توصیه AISC 341 مطابق شکل متناظر ۲۰٪ کاهش ظرفیت باربری در شاخه نزولی نمودار مورد استفاده قرار گرفته است [۲۱]. ملاحظه می‌شود که با افزایش ضخامت بال پیوند ناودانی شکل‌پذیری نمونه کاهش یافته است که دلیل آن تمرکز بیشتر تنش‌ها در انتهای تیر و پاره‌گی زودهنگام این نواحی می‌باشد.

۲-۱-۴- بررسی تأثیر ضخامت جان پیوند ناودانی

می‌توان گفت که تأثیر ضخامت ورق جان پیوند ناودانی بر رفتار اتصال بیشتر از تأثیر ضخامت ورق بال آن می‌باشد.

کاسته شده است که مشابه حالت قبل، به دلیل تمکز بیشتر تنש‌ها در ناحیه انتهای تیر و زوال سختی و مقاومت سریع‌تر اتصال بوده است. در یک جمع‌بندی کلی



شکل ۱۴- نمودارهای چرخه‌ای مربوط به ضخامت جان پیوند ناودانی، (الف) ضخامت جان 0.8 cm ، (ب) ضخامت جان 1.0 cm ، (پ) ضخامت جان 1.2 cm ، (ت) ضخامت جان 1.4 cm

جدول ۴- مقادیر خروجی نمونه‌های عددی نشان‌دهنده تأثیر ضخامت جان پیوند ناودانی

شكل پذیری		دریفت نهایی		دریفت متناظر		ظرفیت نهایی		دریفت تسليم		ظرفیت تسليم		سختی اولیه		ضخامت جان پیوند ناودانی	
تغییر (%)	مقدار	تغییر (%)	مقدار (rad)	تغییر (%)	مقدار (rad)	تغییر (%)	مقدار (kN.m)	تغییر (%)	مقدار (rad)	تغییر (%)	مقدار (kN.m)	تغییر (%)	مقدار (kN.m/rad)	نسبت $H_{w,l}/t_{w,l}$	$t_{w,l}$ (cm)
صفرا	۱۷/۳۴	صفرا	۰/۱۱۸۲	صفرا	۰/۰۵۰۷	صفرا	۲۶/۱۷	صفرا	۰/۰۰۶۸	صفرا	۱۵/۶۷	صفرا	۲۲۹۹	۱۷/۵	۰/۸
-۳۵	۱۱/۲۱	-۱۵	۰/۰۹۹۹	-۱۷	۰/۰۴۲۲	۳۲	۳۴/۵۳	۳۱	۰/۰۰۸۹	۵۵	۲۴/۳۴	۱۹	۲۷۳۲	۱۴	۱/۰
-۵۰	۸/۷۵	-۲۴	۰/۰۸۹۶	-۱۷	۰/۰۴۲۲	۶۱	۴۲/۰۴	۵۰	۰/۰۱۰۲	۱۰۰	۳۱/۴۱	۳۳	۳۰۶۶	۱۱/۷	۱/۲
-۵۲	۸/۱۰	-۲۴	۰/۰۸۹۹	-۱۷	۰/۰۴۲۲	۹۱	۴۹/۹۲	۶۳	۰/۰۱۱۱	۱۳۷	۳۷/۰۹	۴۵	۳۳۴۲	۱۰	۱/۴

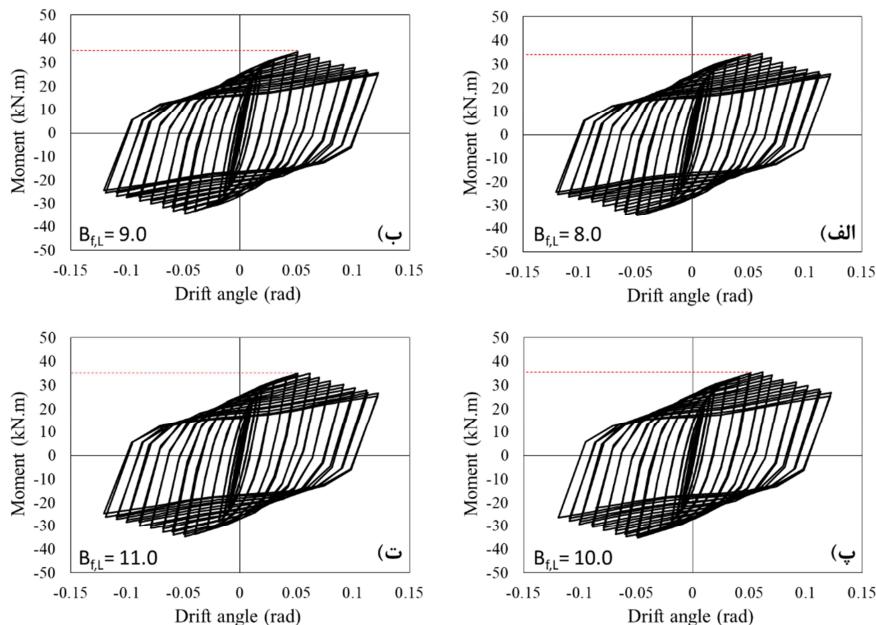
در این جدول با توجه به نمونه با کمترین عرض بال پیوند ناودانی محاسبه شده است. مطابق جدول، افزایش عرض بال پیوند ناودانی تأثیر چندانی بر مقدار سختی و ظرفیت نهایی اتصال نداشته است. بررسی مقدار شکل‌پذیری نمونه‌های مختلف نیز نتیجه مشابهی به دست می‌دهد. لازم به ذکر است که بروز تغییرات متناوب در دریفت متناظر ظرفیت نهایی اتصال، به دلیل نزدیک بودن مقادیر بیشنه لنگر اتصال در سیکلهای مربوط به دریفت ۴٪ و

۳-۱-۴- بررسی تأثیر عرض بال پیوند ناودانی

در این بخش، تأثیر عرض بال پیوند ناودانی بر رفتار چرخه‌ای اتصال مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، نمونه‌هایی با عرض بال کمتر و بیشتر نسبت به پیوند ناودانی نمونه مرجع مدل‌سازی و تحلیل شده است. نتایج حاصل از تحلیل‌های یاد شده به صورت نمودار چرخه‌ای در شکل ۱۵ و خلاصه‌ای از پارامترهای رفتاری این نمونه‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. درصد تغییرات

می‌توان گفت که عرض بال پیوند ناودانی تأثیر چندانی بر رفتار اتصال ندارد.

۵٪ بوده است که برای برخی نمونه‌ها دریفت ۴ درصد و برای برخی نمونه‌های دیگر دریفت ۵٪ حاکم شده است و دلیل معنادار دیگری ندارد. در یک جمع‌بندی کلی



شکل ۱۵- نمودارهای چرخهای مربوط به عرض بال پیوند ناودانی، (الف) عرض بال ۸,۰ cm، (ب) عرض بال ۹,۰ cm، (پ) عرض بال ۱۰,۰ cm و (ت) عرض بال ۱۱,۰ cm

جدول ۵- مقادیر خروجی نمونه‌های عددی نشان‌دهنده تأثیر عرض بال پیوند ناودانی

عرض بال پیوند ناودانی	سختی اولیه	ظرفیت تسليم	ظرفیت تسليم	دریفت متناظر	دریفت نهایی	دریفت نهایی	شکل‌بزیری
B _{f,l} /t _{f,l} (cm)	kN.m/rad	kN.m	(%)	Drift angle (rad)	Drift angle (%)	Drift angle (%)	نسبت
۸/۰	۲۷۲۵	۲۴۰۶	۲۴/۰۶	۰/۰۰۸۸	۰/۰۰۲۹	۰/۱۰۲۹	صفر / ۱۱/۶۶
۹/۰	۲۷۳۲	۲۴۳۴	۲۴/۳۴	۱	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۹۹۹	-۳ / ۱۱/۲۱
۱۰/۰	۲۷۳۹	۲۳۸۵	۲۳/۸۵	-۱	۰/۰۰۸۷	۰/۱۰۰۸	-۲ / ۱۱/۵۸
۱۱/۰	۲۷۵۷	۲۴۳۶	۲۴/۳۶	۱	۰/۰۰۸۸	۰/۱۰۱۴	-۱ / ۱۱/۴۸

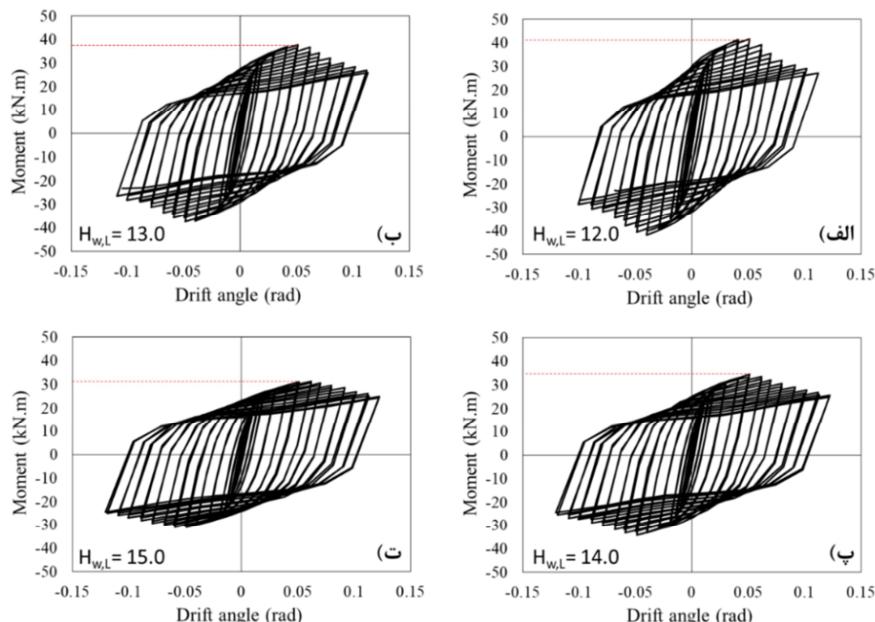
رفتاری این ۴ نمونه که تأثیر ارتفاع جان پیوند ناودانی را نشان می‌دهند در جدول ۶ ارائه شده است. درصد تغییرات در این جدول با توجه به نمونه با کمترین ارتفاع جان پیوند ناودانی محاسبه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، با افزایش ارتفاع جان پیوند ناودانی از ۱۲,۰ به ۱۵,۰ سانتیمتر، مقدار سختی اولیه اتصال ۲۵٪ کاهش یافته است. به طور مشابه، با افزایش ارتفاع جان پیوند ناودانی از ۱۲,۰ به ۱۵,۰ سانتیمتر، ظرفیت نهایی اتصال ۲۸٪ کاهش یافته است.

۴-۱-۴- بررسی تأثیر ارتفاع جان پیوند ناودانی

مطابق روند بندهای پیش، در این بخش تأثیر ارتفاع جان پیوند ناودانی بر رفتار چرخهای اتصال مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، سه اتصال علاوه بر نمونه مرجع با سه مقدار متفاوت برای ارتفاع جان پیوند ناودانی مدل‌سازی و تحلیل شده است. نتایج حاصل از تحلیل‌های یاد شده به صورت نمودار چرخهای در شکل ۱۶ قابل مشاهده می‌باشد. همچنین خلاصه‌ای از پارامترهای

نهایی و سختی اولیه اتصال با افزایش ارتفاع جان پیوند ناوданی برقرار باشد. مقدار شکل‌پذیری نمونه‌های مختلف در ستون آخر جدول ارائه شده است. با توجه به این نتایج، ملاحظه می‌شود که با افزایش ارتفاع جان پیوند ناوданی میزان شکل‌پذیری نمونه نیز افزایش یافته است.

با توجه به اینکه ورق جان پیوند ناوданی تحمل کننده نیروهای فشاری و کششی ناشی از خم شیر در محل اتصال بال‌ها به ناوданی می‌باشد، بنابراین افزایش عرض این ورق به معنای افزایش طول دهانه مقاوم و کاهش سختی و مقاومت اتصال می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان انتظار داشت یک رابطه معکوس بین ظرفیت



شکل ۱۶- نمودارهای چرخه‌ای مربوط به ارتفاع جان پیوند ناوданی، (الف) ارتفاع جان ۱۲/۰ cm، (ب) ارتفاع جان ۱۳/۰ cm، (پ) ارتفاع جان ۱۴/۰ cm و (ت) ارتفاع جان ۱۵/۰ cm

جدول ۶- مقادیر خروجی نمونه‌های عددی نشان‌دهنده تأثیر ارتفاع جان پیوند ناوданی

شکل‌پذیری		دریفت نهایی		دریفت متناظر		ظرفیت نهایی		دریفت تسليم		ظرفیت تسليم		سختی اولیه		ارتفاع جان پیوند ناوданی	
تغییر (%)	مقدار	تغییر (%)	مقدار (rad)	تغییر (%)	مقدار (rad)	تغییر (%)	مقدار (kN.m)	تغییر (%)	مقدار (rad)	تغییر (%)	مقدار (kN.m)	تغییر (%)	مقدار (kN.m/rad)	نسبت $H_{w,L}/t_{w,L}$	(cm)
صفر	۹/۰۶	صفر	۰/۰۸۲۲	صفر	۰/۰۴۲۲	صفر	۴۱/۶۸	صفر	۰/۰۰۹۱	صفر	۲۹/۷۸	صفر	۳۲۸۰	۱۲	۱۲/۰
۵	۹/۵۰	۶	۰/۰۸۶۹	صفر	۰/۰۴۲۲	-۹	۳۷/۸۵	صفر	۰/۰۰۹۱	-۸	۲۷/۴۱	-۹	۲۹۹۶	۱۳	۱۳/۰
۲۴	۱۱/۲۱	۲۲	۰/۰۹۹۹	صفر	۰/۰۴۲۲	-۱۷	۳۴/۵۳	-۲	۰/۰۰۸۹	-۱۸	۲۴/۳۴	-۱۷	۲۷۳۲	۱۴	۱۴/۰
۴۷	۱۳/۳۳	۴۱	۰/۱۱۵۶	۲۰	۰/۰۵۰۷	-۲۵	۳۱/۳۸	-۴	۰/۰۰۸۷	-۲۸	۲۱/۳۲	-۲۵	۲۴۵۹	۱۵	۱۵/۰

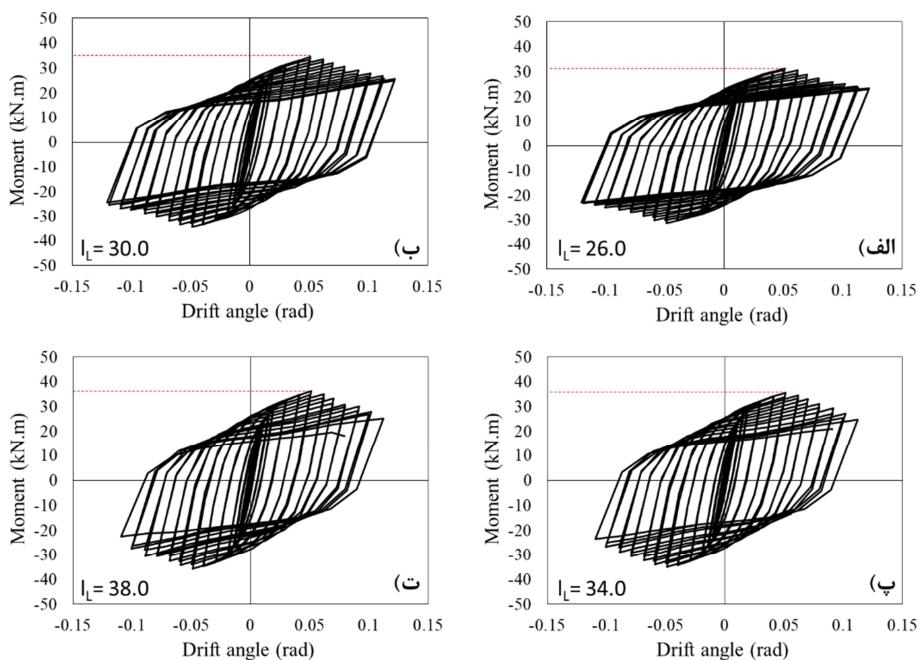
جدول ۷ ارائه شده است. درصد تغییرات در این جدول با توجه به نمونه با کمترین طول پیوند ناوданی محاسبه شده است. براساس نتایج به دست آمده، با افزایش طول پیوند ناوданی از ۲۶/۰ به ۳۸/۰ سانتیمتر، مقدار سختی اولیه اتصال ۱۷٪ افزایش یافته است. همچنین، می‌توان ملاحظه

۱-۴-۵- بررسی تأثیر طول پیوند ناوданی

در این بخش، مدل‌هایی با سه مقدار طول پیوند ناوданی متفاوت نسبت به نمونه مرجع مدل‌سازی و تحلیل شده است. نمودارهای چرخه‌ای حاصل از تحلیل‌های یاد شده در شکل ۱۷ و خلاصه پارامترهای رفتاری نمونه‌ها در

نهایتاً با مقایسه شکل پذیری نمونه‌های مختلف، ملاحظه می‌شود که با افزایش طول پیوند ناودانی میزان شکل پذیری نمونه کاهش یافته است. مطابق جدول، با افزایش طول پیوند ناودانی از $26/0$ به $38/0$ سانتیمتر، مقدار شکل پذیری اتصال $\Delta\theta = 7\%$ کاهش یافته است. در بک جمع‌بندی کلی، می‌توان گفت که تأثیر طول پیوند ناودانی بر رفتار اتصال کمتر از تأثیر ضخامت بال، ضخامت جان یا ارتفاع جان آن می‌باشد.

نمود که با افزایش طول پیوند ناودانی، ظرفیت نهایی اتصال نیز افزایش یافته است. با توجه به اینکه با افزایش طول پیوند ناودانی وضعیت تحمل بار در لبه آزاد ورق جان بهبود می‌یابد. بنابراین طبیعی است که یک رابطه مستقیم بین سختی و مقاومت اتصال با افزایش طول پیوند ناودانی برقرار باشد. علاوه بر این، افزایش طول پیوند ناودانی باعث کاهش سطح تنش‌های منتقل شده از سوی پیوند ناودانی به جان ستون شده و بنابراین با کاهش تغییر‌شکل‌های جان ستون، سختی اتصال افزایش می‌یابد.



شکل ۱۷- نمودارهای چرخهای مربوط به طول پیوند ناودانی، (الف) طول پیوند $26/0$ cm، (ب) طول پیوند $30/0$ cm، (پ) طول پیوند $34/0$ cm و (ت) طول پیوند $38/0$ cm

جدول ۷- مقادیر خروجی نمونه‌های عددی نشان‌دهنده تأثیر طول پیوند ناودانی

شكل پذیری		دریفت نهایی		دریفت متناظر		ظرفیت نهایی		دریفت تسليیم		ظرفیت تسليیم		سختی اولیه		طول پیوند ناودانی	
تفییر (%)	مقدار	تفییر (%)	مقدار (rad)	تفییر (%)	مقدار (rad)	تفییر (%)	مقدار (kN.m)	تفییر (%)	مقدار (rad)	تفییر (%)	مقدار (kN.m)	تفییر (%)	مقدار (kN.m/rad)	نسبت $L_b/H_{w,b}$	L_b (cm)
صفرا	۱۱/۲۵	صفرا	$0/0.28$	صفرا	$0/0.422$	صفرا	$31/26$	صفرا	$0/0.91$	صفرا	$22/90$	صفرا	$250/4$	۱/۴۴	$26/0$
صفرا	۱۱/۲۱	-۳	$0/0.999$	صفرا	$0/0.422$	۱۰	$34/53$	-۲	$0/0.89$	۶	$24/34$	۹	$273/2$	۱/۶۷	$30/0$
-۱۱	$10/0.5$	-۱۴	$0/0.879$	صفرا	$0/0.422$	۱۴	$35/56$	-۴	$0/0.87$	۹	$25/0.5$	۱۴	$286/3$	۱/۸۹	$34/0$
-۷	$10/0.51$	-۱۴	$0/0.885$	صفرا	$0/0.422$	۱۶	$36/21$	-۸	$0/0.84$	۸	$24/73$	۱۷	$293/9$	۲/۱۱	$38/0$

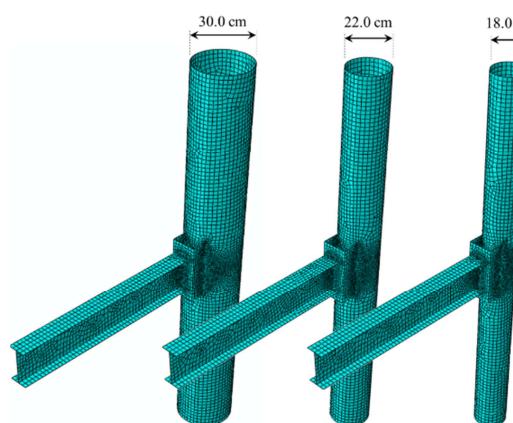
برای بررسی قطر ستون بر رفتار چرخهای اتصال، از سه مقدار مختلف برای قطر ستون استفاده شده است.

۴-۲- بررسی تأثیر قطر ستون

برخلاف انتظار معمول مبنی بر افزایش سختی اتصال با افزایش ممان اینرسی ستون می‌باشد. این مسئله را می‌توان به تغییرشکل‌های موضعی جان ستون در اثر افزایش لاغری جداره ستون مرتبط دانست. در ادامه، تأثیر افزایش قطر ستون بر ظرفیت نهایی اتصال بررسی شده است. با توجه به نتایج بهدست آمده، با افزایش قطر ستون دایره‌ای از $18/0$ به $30/0$ سانتیمتر، ظرفیت نهایی اتصال بدون تغییر باقی مانده است.

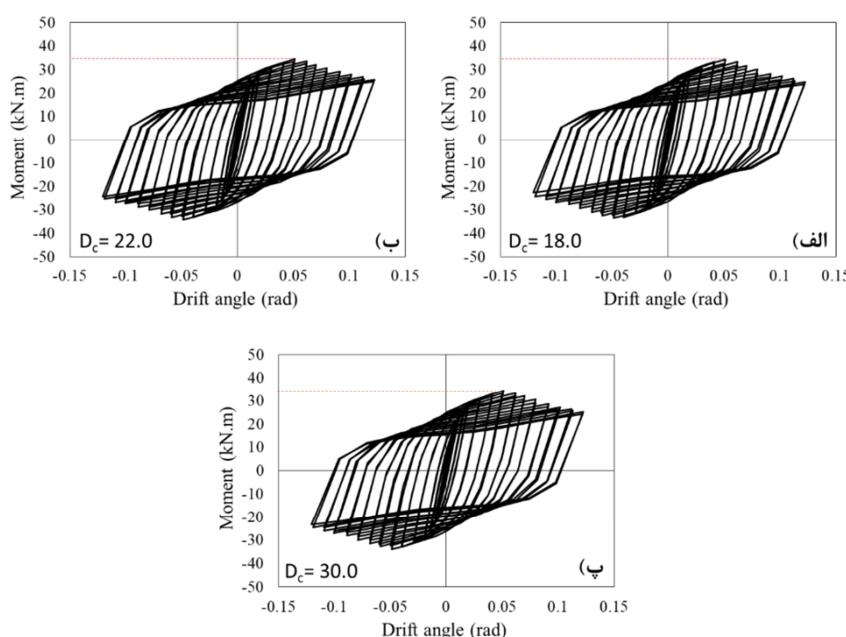
این مسئله نشان می‌دهد که مقطع ستون تعیین‌کننده ظرفیت اتصال مورد بررسی نبوده است. مقدار شکل‌پذیری نمونه‌های مختلف در ستون آخر جدول ۸ ارائه شده است. با توجه به نتایج، ملاحظه می‌شود که افزایش قطر ستون تأثیر کمی بر شکل‌پذیری نمونه‌ها داشته است. به طور کلی، با افزایش قطر ستون دایره‌ای از $18/0$ به $30/0$ سانتیمتر، مقدار شکل‌پذیری اتصال $\%6$ کاهش یافته است. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت که قطر ستون تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر رفتار اتصال مورد بررسی نداشته است.

مطابق شکل ۱۸، مقادیر $18/0$ ، $22/0$ و $30/0$ سانتیمتر برای قطر ستون در نظر گرفته شده است که نشان‌دهنده لاغری جداره 22 ، 27 و 37 می‌باشد.



شکل ۱۸- مدل‌های عددی با مقادیر مختلف قطر ستون

نتایج حاصل از تحلیل‌های المان محدود برای این نمونه‌ها به صورت نمودار چرخه‌ای در شکل ۱۹ و خلاصه نتایج در جدول ۸ ارائه شده است. درصد تغییرات در این جدول با توجه به نمونه با کمترین لاغری جداره ستون محاسبه شده است. براساس نتایج بهدست آمده، با افزایش قطر ستون دایره‌ای از $18/0$ به $30/0$ سانتیمتر، مقدار سختی اولیه اتصال $\%9$ کاهش یافته است. این مسئله



شکل ۱۹- نمودارهای چرخه‌ای مربوط به قطر ستون، (الف) قطر ستون $18/0$ cm، (ب) قطر ستون $22/0$ cm و (پ) قطر ستون $30/0$ cm

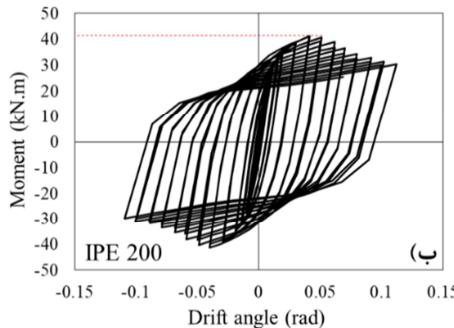
جدول ۸- مقادیر خروجی نمونه‌های عددی نشان دهنده تأثیر قطر ستون

شکل پذیری		دریفت نهایی		دریفت متناظر ظرفیت نهایی		ظرفیت نهایی		دریفت تسليم		ظرفیت تسليم		سختی اولیه		قطر ستون	
تغییر	مقدار (%)	تغییر	مقدار (rad)	تغییر	مقدار (rad)	تغییر	مقدار (kN.m)	تغییر	مقدار (rad)	تغییر	مقدار (kN.m)	تغییر	مقدار (kN.m/rad)	نسبت D_c/t_c	D_c (cm)
تغییر	مقدار (%)	تغییر	مقدار (rad)	تغییر	مقدار (rad)	تغییر	مقدار (kN.m)	تغییر	مقدار (rad)	تغییر	مقدار (kN.m)	تغییر	مقدار (kN.m/rad)	نسبت D_c/t_c	D_c (cm)
صفر	۱۰/۶۵	صفر	۰/۰۹۴۳	صفر	۰/۰۴۲۲	صفر	۳۴/۳۷	صفر	۰/۰۰۸۹	صفر	۲۴/۸۶	صفر	۲۸۰۷	۲۲	۱۸۰
۵	۱۱/۲۱	۶	۰/۰۹۹۹	۰/۰۴۲۲	۰/۰۴۲۲	۰/۰۴۲۲	۳۴/۵۳	۰/۰۰۸۹	-۲	۲۴/۳۴	-۳	۲۷۳۲	۲۷	۲۲۰	
-۶	۱۰/۰۵	۲	۰/۰۹۶۳	۰/۰۴۲۲	۰/۰۴۲۲	۰/۰۴۲۲	۳۴/۴۴	۸	۰/۰۰۹۶	-۲	۲۴/۳۵	-۹	۲۵۴۳	۳۷	۳۰۰

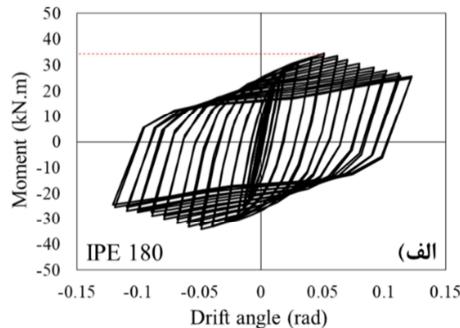
قطعه تیر از ۱۸۰ IPE به ۲۰۰ IPE سختی و مقاومت نهایی اتصال به ترتیب ۳۳ و ۱۹ درصد افزایش یافته ولی شکل پذیری اتصال تقریباً ثابت بوده است. با توجه به اینکه IPE 200 سختی و ظرفیت خمثی پلاستیک قطعه ۲۰۰ IPE بیشتر از ۱۸۰ IPE می‌باشد، افزایش سختی اولیه و ظرفیت نهایی نمونه دارای تیر ۲۰۰ IPE نسبت به نمونه با تیر ۱۸۰ IPE منطقی به نظر می‌رسد. علاوه بر این، افزایش عرض بال تیر، فضای آزاد بر روی ورق جان تیر پیوند ناودانی می‌باشد. از ثابت ماندن مقدار شکل پذیری اتصال می‌توان نتیجه گرفت که منبع تأمین شکل پذیری (تغییر شکل‌های غیرخطی) اتصال در تیر واقع نبوده و در پیوند ناودانی متتمرکز می‌باشد.

۳-۴- بررسی تأثیر قطعه تیر

برای بررسی تأثیر قطعه تیر بر رفتار چرخهای اتصال، از دو نوع تیر با مقاطع ۱۸۰ IPE و ۲۰۰ IPE استفاده شده است. سایر پارامترهای دو اتصال مورد بررسی مشابه هم بوده است. ارتفاع و مدول پلاستیک قطعه ۲۰۰ IPE به ترتیب ۱۱ و ۳۲ درصد بیشتر از ارتفاع و مدول پلاستیک قطعه ۱۸۰ IPE می‌باشد. نتایج حاصل از تحلیلهای المان محدود برای این نمونه‌ها به صورت نمودار چرخهای رفتاری در شکل ۲۰ قابل مشاهده می‌باشد. همچنین خلاصه پارامترهای رفتاری این دو نمونه در جدول ۹ ارائه شده است. تغییرات در این جدول نسبت به نمونه با تیر ۱۸۰ IPE سنجیده شده است با توجه به نتایج به دست آمده، ملاحظه می‌شود با تغییر



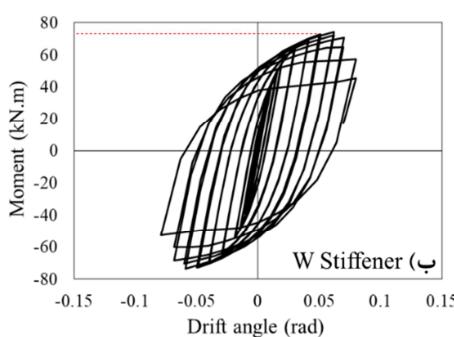
شکل ۲۰- نمودارهای چرخهای مربوط به مقاطع مختلف تیر، (الف) تیر با مقاطع ۱۸۰ IPE و (ب) تیر با مقاطع ۲۰۰ IPE



جدول ۹- مقادیر خروجی نمونه‌های عددی نشان دهنده تأثیر قطعه تیر

شکل پذیری		دریفت نهایی		دریفت متناظر ظرفیت نهایی		ظرفیت تسليم		دریفت تسليم		ظرفیت تسليم		سختی اولیه		قطعه تیر	
تغییر	مقدار (%)	تغییر	مقدار (rad)	تغییر	مقدار (rad)	تغییر	مقدار (kN.m)	تغییر	مقدار (rad)	تغییر	مقدار (kN.m)	تغییر	مقدار (kN.m/rad)	مقدار (kN.m)	مقدار (kN.m)
صفر	۱۱/۲۱	صفر	۰/۰۹۹۹	صفر	۰/۰۴۲۲	صفر	۳۴/۵۳	۰/۰۰۸۹	صفر	۲۴/۳۴	۲۷۳۲	۲۷	۱۸۰	IPE 180	
صفر	۱۱/۲۴	-۸	۰/۰۹۱۵	-۱۹	۰/۰۳۴۲	۱۹	۴۱/۱۴	-۹	۰/۰۰۸۱	۲۲	۲۹/۶۳	۳۳	۳۶۳۸	IPE 200	

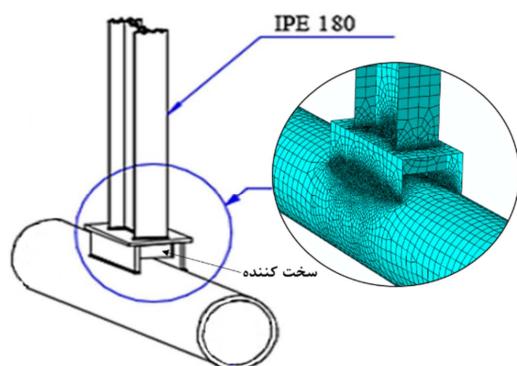
نتایج حاصل از تحلیل‌های المان محدود برای این نمونه و نمونه مرجع به صورت نمودار چرخه‌ای در شکل ۲۲ قابل مشاهده می‌باشد. خلاصه پارامترهای رفتاری این دو نمونه در جدول ۱۰ ارائه شده و تغییرات نسبت به نمونه فاقد سخت‌کننده بررسی شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱۰، ملاحظه می‌شود که با افزودن سخت‌کننده، سختی اولیه و ظرفیت نهایی اتصال تا حد زیادی افزایش پیدا کرده است. همچنین، با افزودن سخت‌کننده، سختی اولیه و ظرفیت نهایی اتصال به ترتیب ۵۶ و ۱۱۵ درصد افزایش یافته است. این در حالی است که افزودن سخت‌کننده تأثیر منفی بر شکل‌پذیری اتصال داشته و باعث افت شدید سختی و مقاومت اتصال در شاخه نزولی نمودار شده است. طبق نتایج، با افزودن سخت‌کننده شکل‌پذیری اتصال به مقدار ۴۹٪ کاهش یافته است.



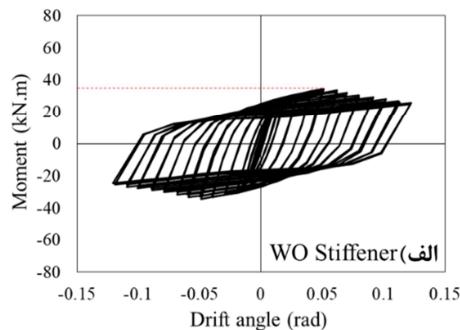
شکل ۲۲- نمودارهای چرخه‌ای مربوط به تأثیر سخت کننده، (الف) بدون سخت کننده و (ب) با سخت کننده

۴-۴- بررسی تأثیر سخت‌کننده پیوند

برای بررسی تأثیر سخت‌کننده بر رفتار چرخه‌ای اتصال، از نصب دو عدد ورق به عرض ۵/۰ و ضخامت ۱/۰ سانتیمتر در داخل پیوند ناودانی و هم‌راستا با بال‌های تیر استفاده شده است. شکل ۲۱ محل نصب سخت‌کننده‌ها در داخل پیوند ناودانی را نشان می‌دهد. سایر پارامترهای اتصال، مشابه نمونه مرجع بوده است.



شکل ۲۱- نمای شماتیک محل سخت کننده‌های نصب شده

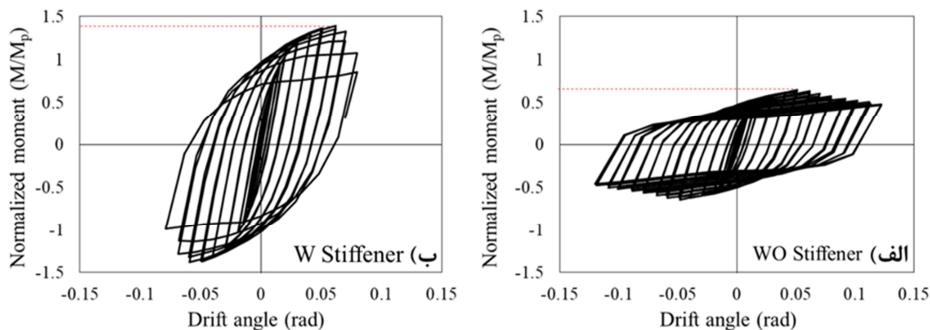


وَقَدْ أَنْتَ مُهْمَّةً لِلْمُؤْمِنِينَ

جدول ۱۰ - مقادیر حرجی نمودهای عددی بنابراین ساخته شده												مدل		
شكل پذیری		دریفت نهایی		دریفت متناظر ظرفیت نهایی		ظرفیت نهایی		ظرفیت تسليم		ظرفیت تسليم		سختی اولیه		
تغییر (%)	مقدار	تغییر (%)	مقدار (rad)	تغییر (%)	مقدار (rad)	تغییر (%)	مقدار (kN.m)	تغییر (%)	مقدار (rad)	تغییر (%)	مقدار (kN.m)	تغییر (%)	مقدار (kN.m/rad)	
صفر	۱۱/۲۱	صفر	۰/۰۹۹۹	صفر	۰/۰۴۲۲	صفر	۳۴/۵۳	صفر	۰/۰۰۸۹	۲۴/۳۴	صفر	۲۷۳۲	اتصال مرجع	
-۴۹	۵/۷۴	-۲۴	۰/۰۷۶۴	۲۰	۰/۰۵۰۷	۱۱۵	۷۴/۱۷	۴۹	۰/۰۱۳۳	۱۳۳	۵۶/۶۹	۵۶	۴۲۵۹	با ساخت کننده

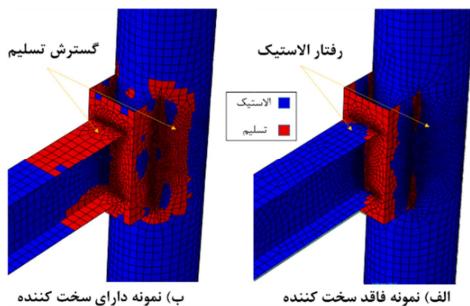
این است که منحنی مربوط به اتصال فاقد سخت‌کننده تا حد قابل ملاحظه‌ای پایین‌تر از عدد $1/0$ می‌باشد. در این نمونه، تیر به ظرفیت نهایی خود نرسیده و رفتار غیرخطی اتصال، ناشی از تسلیم سبند ناهداش، بوده است.

برای بررسی دلیل این تغییرات در پارامترهای کلیدی، محور قائم نمودارهای رفتار چرخه‌ای براساس ظرفیت خمش پلاستیک مقاطع تیر نرمال شده و نمودارهای به دست آمده مجدداً در شکل ۲۳ ارائه شده است. اولین مسئله‌ای که در این نمودارها به نظر می‌رسد



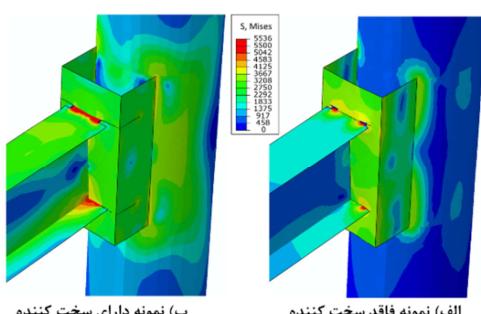
شکل ۲۳- نمودارهای چرخهای نرمал شده مربوط به تأثیر سخت‌کننده، (الف) بدون سخت‌کننده و (ب) با سخت‌کننده

وضعیت المان‌های حذف شده از تحلیل در انتهای دریفت
درصد را نمایش می‌دهد.



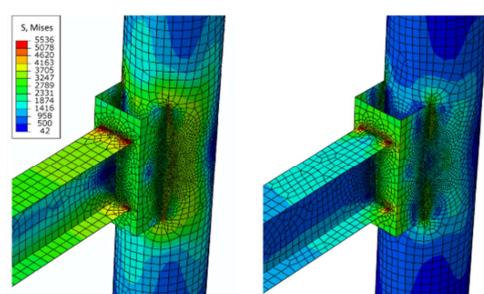
شکل ۲۴- توزیع المان‌های تسليم شده در دریفت ۴٪، (الف)
بدون سخت‌کننده و (ب) با سخت‌کننده

با توجه به شکل، ملاحظه می‌شود که در صورت استفاده از سخت‌کننده در داخل پیوند ناودانی، پیوند ناودانی تقویت شده و نواحی تسليم شده به سمت اتصال تیر به پیوند ناودانی گسترش یافته است. این مسئله، باعث رشد سریع‌تر کرنش‌های پلاستیک در ناحیه اتصال تیر به پیوند ناودانی شده و می‌تواند کاهش شکل‌پذیری و خرابی سریع‌تر اتصال را در پی داشته باشد که بررسی آن نیازمند انجام تحقیقات بیشتر می‌باشد.



شکل ۲۵- وضعیت المان‌های حذف شده از تحلیل در دریفت ۴٪، (الف) بدون سخت‌کننده و (ب) با سخت‌کننده

به طور کلی، اتصالات فاقد سخت‌کننده در داخل پیوند ناودانی، سختی و مقاومت مناسب برای قرار گرفتن در دسته‌بندی اتصالات صلب را دارا نمی‌باشند. مطابق استاندارد AISC 360-16 مربوط به اتصالات صلب تحت بارهای سرویس بایستی بیش از $E = 20EI/L$ مدول الاستیسیته، I ممان اینرسی تیر و L طول دهانه تیر) و کاهش مقاومت آن در دریفت ۴ درصد کمتر از ۲۰ درصد ظرفیت نهایی باشد [۲۰]. این در حالی است که بیشینه منحنی مربوط به اتصال دارای سخت‌کننده، بالاتر از عدد ۱۰ می‌باشد که نشان می‌دهد در این نمونه تیر به ظرفیت نهایی خود رسیده و رفتار غیرخطی اتصال در تیر و پیوند متمرکز بوده است. بررسی سختی و مقاومت این مدل حاکی از آن است که اتصال دارای سخت‌کننده، شرایط مورد نیاز برای قرار گرفتن در دسته‌بندی اتصالات صلب را دارد. تفاوت رفتار نمونه‌های با و بدون سخت‌کننده، به‌طور مشخص در شکل ۲۶ تا ۲۸ قابل ملاحظه است.



شکل ۲۶- توزیع تنش‌های مایسز در انتهای دریفت ۴٪، (الف)
بدون سخت‌کننده و (ب) با سخت‌کننده

شکل ۲۶، توزیع تنش‌های مایسز و شکل ۲۵، توزیع المان‌های تسليم شده در نمونه‌های با و بدون سخت‌کننده را در دریفت ۴ درصد نمایش می‌دهد. همچنین شکل ۲۶،

مقاومت اتصال خواهد شد. بهطور کلی، افزایش مقطع تیر باعث افزایش سختی و مقاومت کلی اتصال می‌شود.

۴- افزودن سخت‌کننده در داخل پیوند ناودانی، باعث افزایش قابل‌ملاحظه در سختی و مقاومت اتصال می‌شود. بنابراین افزودن این عناصر باعث گسترش نواحی تسلیم شده و رشد سریع تر کرنش‌های پلاستیک به سمت اتصال تیر به پیوند ناودانی می‌شود که با خرابی و حذف المان‌ها در این نواحی همراه است. این مسئله، باعث شروع زودتر شاخه نزولی و خرابی اتصال در منحنی رفتاری شده و تأثیر منفی بر شکل‌پذیری اتصال می‌گذارد.

بهطور کلی، بررسی نتایج نشان می‌دهد که در اغلب نمونه‌های فاقد سخت‌کننده، تیر به ظرفیت نهایی خود نرسیده و رفتار غیرخطی اتصال ناشی از تسلیم پیوند ناودانی می‌باشد. در این حالت، سختی اتصال نیز برای دسته‌بندی آن در گروه اتصالات صلب کافی نمی‌باشد. این در حالی است که در نمونه دارای سخت‌کننده، تیر به ظرفیت نهایی خود رسیده و سختی و مقاومت کافی برای دسته‌بندی آن در گروه اتصالات صلب را دارا می‌باشد. بنابراین بروز مرکز تنفس و کرنش در ناحیه اتصال تیر به پیوند ناودانی در نمونه دارای سخت‌کننده که می‌تواند منشأ بروز خرابی در این اتصال باشد، نیازمند تحقیقات بیشتر برای دستیابی به سخت‌کننده با یک پیکربندی بهینه می‌باشد. همچنین ارائه مدل تحلیلی و روابط طراحی برای اتصال مورد بررسی می‌تواند موضوع تحقیقات آتی باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، رفتار چرخه‌ای اتصال خمشی تیر [شکل به ستون دایره‌ای با پیوند ناودانی به صورت پارامتریک بررسی گردید. برای این منظور، اتصال مورد نظر به صورت عددی در نرم‌افزار المان محدود آباکوس مدل‌سازی شده و تأثیر پارامترهای هندسی مختلف اتصال بر رفتار چرخه‌ای آن بررسی شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد:

- از میان پارامترهای هندسی پیوند ناودانی، ضخامت ورق جان، بیشترین تأثیر را بر رفتار چرخه‌ای اتصال دارد. بهطور کلی، افزایش ضخامت بال و جان ناودانی، سختی و مقاومت اتصال را افزایش و میزان شکل‌پذیری آن را کاهش می‌دهد. همچنین، افزایش طول پیوند ناودانی باعث بهبود سختی و مقاومت اتصال و افزایش ارتفاع جان پیوند، باعث کاهش این پارامترها می‌شود. لازم به ذکر است که عرض بال پیوند ناودانی تأثیر چندانی بر رفتار اتصال ندارد.
- با افزایش قطر ستون، لاغری جداره آن افزایش یافته و در اثر تغییرشکل‌های موضعی جان ستون، مقدار سختی نمونه به طور جزئی کاهش می‌یابد. بنابراین این پارامتر تأثیر چندانی بر مقاومت و شکل‌پذیری اتصال ندارد.

- در مواردی که منبع تأمین شکل‌پذیری (تغییرشکل‌های غیرخطی) اتصال در پیوند ناودانی مرکز می‌باشد، تغییر مقطع تیر تأثیری بر مکانیزم عملکردی اتصال نخواهد داشت. بنابراین، تغییر فضاهای آزاد بر روی ورق جان پیوند ناودانی تا حدودی باعث تغییر سختی و

References

- [1] ANSI/AISC 358-16 (2016). *Prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications*, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA.
- [2] Sohæi, S., Tahamouli Roudsari, M., & Memarzadeh, P. (2023). Numerical investigation of the beam-to-circular column connection using a new external stiffener, *Journal of Structural and Construction Engineering*, 10(3), 127-149. doi: 10.22065/jsce.2022.339870.2801 [In Persian]

- [3] Couchaux, M., Vyhlas, V., Kanyilmaz, A. & Hjiaj, M. (2021). Passing-through I-beam-to-CHS column joints made by laser cutting technology: Experimental tests and design model, *Journal of Constructional Steel Research*, 176, 106298. doi: [10.1016/j.jcsr.2020.106298](https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106298)
- [4] Tahamouli Roudsari, M., Sohaei, S., Torkaman, M., Alizadeh, A., Safaee, S., Haghani, A., & Mohammadi-Majd, M. (2019). Experimental Investigation of I-Shaped Beam to Circular Column Rigid Connection with Stiffened and Non-Stiffened Channel Link, *Journal of Earthquake Engineering*, 25(13), 1-23. doi: [10.1080/13632469.2019.1628129](https://doi.org/10.1080/13632469.2019.1628129)
- [5] Asadian, R., Naser Asadi, K., & Eghbali, M. (2022). Seismic Evaluation of Optimal Performance-Based Design of Steel Moment Frames with Metaheuristic Algorithms, *Civil Infrastructure Researches*, 7(2), 107-128. doi: [10.22091/cer.2021.6938.1249](https://doi.org/10.22091/cer.2021.6938.1249) [In Persian]
- [6] Fathali, M. A., Hoseini Vaez, S. R., & Dehghani, E. (2019). Modeling the link beam behavior to evaluate its performance according to FEMA 356 and calculating the target displacement of performance levels, *Civil Infrastructure Researches*, 4(2), 47-60. doi: [10.22091/cer.2018.3193.1118](https://doi.org/10.22091/cer.2018.3193.1118) [In Persian]
- [7] Hamedi, F., & Adibzadeh, S. B. (2023). Minimum Thickness of the Column Face in the Welded Unreinforced Flange-Welded Web (WUF-W) Moment Connection to Box Column without Continuity Plate, *Civil Infrastructure Researches*, 8(2), 157-172. doi: [10.22091/cer.2022.8291.1405](https://doi.org/10.22091/cer.2022.8291.1405) [In Persian]
- [8] Ahmadi, M., & Musavi, M. R. (2021). Effect of High-Strength Materials on Axial Capacity of CFT Columns, *Civil Infrastructure Researches*, 6(2), 49-66. doi: [10.22091/cer.2021.6837.1239](https://doi.org/10.22091/cer.2021.6837.1239) [In Persian]
- [9] Elremaily, A., & Azizinamini, A. (2001). Experimental behavior of steel beam to CFT column connections, *Journal of Constructional Steel Research*, 57(10), 1099-1119. doi: [10.1016/S0143-974X\(01\)00025-6](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(01)00025-6)
- [10] Elremaily, A., & Azizinamini, A. (2001). Design provisions for connections between steel beams and concrete filled tube columns, *Journal of Constructional Steel Research*, 57(9), 971-995. doi: [10.1016/S0143-974X\(01\)00016-5](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(01)00016-5)
- [11] Cheng, C. T., & Chung, L. L. (2003). Seismic performance of steel beams to concrete-filled steel tubular column connections, *Journal of Constructional Steel Research*, 59(3), 405-426. doi: [10.1016/S0143-974X\(02\)00033-0](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(02)00033-0)
- [12] Sheet, I. S., Gunasekaran, U., & MacRae, G. A. (2013). Experimental investigation of CFT column to steel beam connections under cyclic loading, *Journal of Constructional Steel Research*, 86, 167-182. doi: [10.1016/j.jcsr.2013.03.021](https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2013.03.021)
- [13] Jedd, M. Z., Sulong, N. R., & Khanouki, M. A. (2017). Seismic performance of a new through rib stiffener beam connection to concrete-filled steel tubular columns: An experimental study, *Engineering Structures*, 131, 477-491. doi: [10.1016/j.engstruct.2016.10.038](https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.10.038)
- [14] Kanyilmaz, A., & Castiglioni, C. A. (2018). Fabrication of laser cut I-beam-to-CHS-column steel joints with minimized welding, *Journal of Constructional Steel Research*, 146, 16-32. doi: [10.1016/j.jcsr.2018.02.039](https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.02.039)
- [15] Das, R., Kanyilmaz, A., Couchaux, M., Hoffmeister, B., & Degee, H. (2020). Characterization of moment resisting I-beam to circular hollow section column connections resorting to passing-through plates, *Engineering Structures*, 210, 110356. doi: [10.1016/j.engstruct.2020.110356](https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110356)
- [16] Sabbagh, A. B., Chan, T. M., & Mottram, J. T. (2013). Detailing of I-beam-to-CHS column joints with external diaphragm plates for seismic actions, *Journal of Constructional Steel Research*, 88, 21-33. doi: [10.1016/j.jcsr.2013.05.006](https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2013.05.006)
- [17] Quan, C., Wang, W., Chan, T. M., & Khador, M. (2017). FE modelling of replaceable I-beam-to-CHS column joints under cyclic loads, *Journal of Constructional Steel Research*, 138, 221-234. doi: [10.1016/j.jcsr.2017.07.012](https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2017.07.012)
- [18] Tahamouli Roudsari, M., Sohaei, S., Torkaman, M., Safaee, S. A., Tahmasebi, S., Mohammadi, S., & Ghiasvand, M. M. (2020). Presenting a new detail for the rigid connection between I-shaped beam and concrete-filled steel tube column with stiffened channel link, *International Journal of Steel Structures*, 20(2), 655-667. doi: [10.1007/s13296-020-00312-w](https://doi.org/10.1007/s13296-020-00312-w)
- [19] Akrami, V., & Erfani, S. (2015). Effect of local web buckling on the cyclic behavior of reduced web beam sections (RWBS), *Steel and Composite Structures*, 18(3), 641-657. doi: [10.12989/scs.2015.18.3.641](https://doi.org/10.12989/scs.2015.18.3.641)

- [20] Kanvinde, A. M., & Deierlein, G. G. (2004). *Micromechanical simulation of earthquake induced fracture in structural steel*, Report NO. 145, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, CA, USA.
- [21] ANSI/AISC 341-16 (2016). *Seismic Provisions for Structural Steel Building*, American Institute of Steel Construction (AISC), Chicago, Illinois, USA.
- [22] ANSI/AISC 360-16 (2016). *Specification for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction (AISC), Chicago, Illinois, USA.