

Numerical Evaluation of Rigid Connection Using Weakened Fusable Splice Plates in Steel Moment Frames Under Cyclic Loading

Payam Tarighi¹, Mohammad Ali Kafi^{2*}

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Ahlul Bayt International University, Tehran, Iran.

2- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

ABSTRACT

After the Northridge earthquake, connections called pre-qualified rigid connections by international codes were introduced. After ensuring the seismic performance of this type of connections in earthquakes, this concern was raised that due to the forming of plastic hinges in the beam elements, the repairability of the structure after the occurrence of moderate and severe earthquakes is not possible, or with excessive costs. Therefore, connections called replaceable connections were proposed; in which by forming plastic hinges in predetermined elements and replacing them after an earthquake, the structure will be able to be used again. In this study, a numerical investigation of the performance of a rigid connection with replaceability under cyclic loading has been done. In the following, the effects of some restrictions, including the maximum ratio of the width to the thickness of the flange of the beam, the lack of continuity or doubler plates of the column, on the performance of the proposed connection has been evaluated. The results have shown that in the proposed connection, the plastic hinge is formed in the fuse elements, and the beam and column remain in elastic state, and the connection is replaceable. Also, due to the early buckling of the fuse plates of the beam flange, the bending capacity of the connection has been reduced by 14% compared to the bending capacity of the fuse. Investigations have shown that the lack of simultaneous continuity and doubler plates of the column in the proposed connection has led to a decrease in energy absorption and bending capacity of the connection by 32.71% and 23.56%, respectively. Also, in this connection, in order to ensure its replaceability, the maximum ratio of the width to the thickness of the flange of the beam was limited to 80% and 33% of the limit determined by the provisions, respectively.

ARTICLE INFO

Receive Date: 02 October 2024

Revise Date: 02 December 2024

Accept Date: 04 December 2024

Keywords:

Rigid connection
replaceable connection
Repairable connection
Continuity plates
Doubler plate

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: [10.22065/jsce.2024.480586.3531](https://doi.org/10.22065/jsce.2024.480586.3531)

*Corresponding author: Mohammad Ali Kafi
Email address: mkafi@semnan.ac.ir

ارزیابی عددی رفتار اتصال گیردار با استفاده از ورق‌های وصله فیوز شونده در قاب‌های خمشی فولادی تحت بارگذاری چرخه‌ای

پیام طریقی^۱، محمدعلی کافی^{۲*}

۱-استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی اهل بیت (ع)، تهران، ایران

۲-دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

چکیده

پس از وقوع زلزله نورتریج، اتصالاتی تحت عنوان اتصالات گیردار از پیش تایید شده توسط آیین‌نامه‌های بین‌المللی معرفی گردید. پس از اطمینان از درستی عملکرد لرزه‌ای این نوع از اتصالات در زلزله‌های بوقوع پیوسته، این دغدغه مطرح گردید که با توجه به متمرکز ساختن مفاصل پلاستیک در المان‌های تیر، تعمیرپذیری سازه پس از وقوع زلزله‌های متوسط و شدید امکان پذیر نبوده و یا با هزینه‌های گزافی رو به رو خواهد بود. از این رو اتصالاتی تحت عنوان اتصالات با قابلیت تعویض پذیری مطرح شدند؛ که در آنها با تشکیل مفاصل پلاستیک در المانهای از پیش تعیین شده و تعویض آنها پس از وقوع زلزله، سازه مجدد قابلیت بهره برداری خواهد داشت. در این مطالعه به معرفی و بررسی عددی عملکرد یک اتصال گیردار با قابلیت تعویض پذیری، تحت بارگذاری چرخه‌ای پرداخته شده است. در ادامه تاثیر برخی از محدودیت‌های آیین‌نامه‌ای از جمله حداکثر نسبت پهنا به ضخامت بال و جان تیر، عدم تعبیه ورق‌های پیوستگی و یا ورق‌های مضاعف جان ستون، در عملکرد اتصال پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان داده است که در اتصال پیشنهادی مفصل پلاستیک در المان فیوز تشکیل شده و تیر و ستون در حالت الاستیک باقی مانده‌اند و اتصال قابلیت تعویض پذیری داشته است. همچنین با توجه به کماتش زود هنگام ورق‌های فیوز بال تیر، ظرفیت خمشی اتصال نسبت به ظرفیت خمشی فیوز با کاهش ۱۴ درصدی همراه بوده است. بررسی‌ها نشان داده است عدم تعبیه همزمان ورق‌های پیوستگی و مضاعف جان ستون در اتصال پیشنهادی، منجر به کاهش جذب انرژی و ظرفیت باربری اتصال به ترتیب به میزان ۳۲/۷۱ و ۲۳/۵۶ درصد شده است. همچنین در این اتصال به منظور اطمینان از قابلیت تعویض پذیری آن، حداکثر نسبت پهنا به ضخامت بال و جان تیر به ترتیب به ۱۰ و ۳۳ درصد حد تعیین شده توسط آیین‌نامه محدود گردید.

کلمات کلیدی: اتصال گیردار، تعویض پذیر، تعمیرپذیر، ورق پیوستگی، ورق مضاعف

سابقه مقاله:		شناسه دیجیتال:			
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	doi:
				۱۴۰۴/۰۳/۳۱	10.22065/jsce.2024.480586.3531
*نویسنده مسئول:		محمدعلی کافی			
پست الکترونیکی:		mkafi@semnan.ac.ir			

۱- مقدمه

در آیین نامه‌های طراحی بین المللی، قابهای خمشی فولادی به عنوان یک سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی معرفی شده است. در این راستا طراحی اتصالات و در نظر گرفتن ضوابط خاص در این سیستم، به منظور تحمل تغییر شکل‌های فرا ارتجعی در مناطق با خطر لرزه خیزی بالا، از اهمیت بسزایی برخوردار است. تا قبل از زلزله ۱۹۹۴ نورث ریج، تصور بر آن بود که جزئیات ارائه شده در آیین نامه‌های طراحی در ارتباط با اتصالات صلب، به نحوی است که اتصالات تیر به ستون می‌توانند سطوح بالایی از شکل‌پذیری را از خود نشان دهند. خرابی‌های گسترده در اتصالات تیر به ستون در قاب‌های خمشی فولادی پس از وقوع این زمین لرزه، حاکی از نیاز اساسی به بازنگری بنیادین در روند طراحی اتصالات در این سیستم بوده است. در این راستا به منظور بهبود عملکرد لرزه‌ای قابهای خمشی با شکل‌پذیری ویژه، اتصالاتی تحت عنوان اتصالات از پیش تایید شده در آیین نامه‌های طراحی مطرح گردید.

در این نوع از اتصالات، ۲ رویکرد تقویت اتصال در بر ستون و یا تضعیف قسمتی از تیر در مجاورت اتصال، در نظر گرفته شده است. در رویکرد دوم که با عنوان اتصال گیردار تیر با سطح مقطع کاهش یافته (RBS) شناخته می‌شوند، هدف تشکیل مفصل پلاستیک در قسمتی از بال تیر، در فاصله‌ای مشخص از بر ستون می‌باشد. پس از مطرح شدن این اتصال در آیین نامه [۱] AISC 358-16 به عنوان اتصال از پیش تایید شده، پژوهشگران و محققان زیادی به ارائه ایده‌های خود، در زمینه این نوع از اتصالات پرداختند. از جمله آنها می‌توان به کاهش تدریجی ارتفاع تیر [۲]، موجدار کردن قسمتی از جان تیر [۳]، ایجاد سوراخ‌هایی در جان تیر [۴]، ایجاد سوراخ‌هایی در بال تیر [۵]، افزایش تدریجی عرض بال تیر در محل اتصال [۶]، اتصال تیر با سطح مقطع کاهش یافته و صفحه انتهایی پیچ شده [۷]، روش حرارت دادن و به آرامی سرد کردن قسمتی از بال تیر [۸]، اتصال تیر با سطح مقطع کاهش یافته همراه با سخت کننده‌های قطری [۹]، دو کاهش متوالی در بال تیر [۱۰]، تیر با سطح مقطع کاهش یافته همراه با سخت کننده قوطی [۱۱] و... اشاره نمود.

دغدغه‌ای که در ارتباط با این نوع از اتصالات مطرح می‌گردد، این است که پس از وقوع زلزله‌های متوسط و شدید و تشکیل مفاصل پلاستیک در تیرها، تعمیرپذیری سازه بسیار سخت و یا حتی غیرممکن خواهد بود. در صورت امکان تعمیر نیز، نیازمند صرف هزینه گزاف و زمان طولانی می‌باشد. به منظور برطرف نمودن این مشکل، اتصالاتی تحت عنوان اتصالات گیردار با قابلیت تعمیرپذیری مطرح گردید. در این نوع از اتصالات مفاصل پلاستیک در المانهایی از پیش تعیین شده به نام فیوز، که توسط پیچ‌های پرمقاومت به تیر متصل شده‌اند، تشکیل می‌گردند و پس از وقوع زلزله، با باز کردن پیچ‌ها و تعویض این المانها، سازه مجدد قابلیت بهره برداری خواهد داشت. در ادامه به برخی از مطالعاتی که در سالهای اخیر در این زمینه انجام شده، پرداخته شده است.

در مطالعه شن و همکاران [۱۲] به ارزیابی آزمایشگاهی استفاده از مقطع I شکل دارای صفحات انتهایی که توسط پیچ به تیر اصلی متصل شده، پرداخته شده است. همچنین در مطالعه آنها استفاده از دابل ناودانی پشت به پشت پیچ شده به جان تیر، به عنوان فیوز تعمیرپذیر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمایشات آنها نشان داده است که اتصالات پیشنهاد شده می‌توانند مقاومت و شکل‌پذیری معادل با سازه‌های ساخته شده با روش‌های طراحی متداول، فراهم آورند. همچنین از لحاظ میزان جذب انرژی، فیوز دارای صفحات انتهایی پیچ شده به تیر نسبت به فیوز ناودانی پیچ شده به جان تیر، عملکرد بهتری را از خود نشان داده است.

در مطالعه هی و همکاران (He, H.) به بررسی عددی استفاده از فولاد با مقاومت تسلیم پایین در اتصالات RBS در قسمت‌های تضعیف شده و تبدیل آن به یک اتصال گیردار با قابلیت تعویض پذیری، پرداخته شده است [۱۳]. نتایج مطالعات آنها نشان داده است که اتصال پیشنهاد شده توانسته نیروی زلزله را به خوبی مستهلک سازد؛ بدون آنکه در ناحیه تضعیف شده دچار کماتش موضعی و یا تغییر شکل گردد.

در مطالعه هی و همکاران (He, X.) به بررسی آزمایشگاهی استفاده از نبشی به عنوان فیوز تعویض پذیر پرداخته شده است [۱۴]. همچنین در مطالعه آنها هدف بر آن بوده است که مفصل پلاستیک در فیوز بال تحتانی تیر متمرکز گردد، تا از خرابی دال بتنی موجود در بال فوقانی تیر، ممانعت بعمل آید. نتایج مطالعه آنها نشان داده است که در اتصال پیشنهادی، اکثر خرابی‌ها در نبشی تحتانی متمرکز گردیده و المانهایی اصلی در حالت الاستیک باقی مانده‌اند. همچنین دال بتنی با کمترین خرابی در طول آزمایش مواجه بوده است.

در مطالعه‌ای که سلطان آبادی و بهنام فر [۱۵] در سال ۲۰۱۸ میلادی انجام دادند، به بررسی استفاده از نوع جدیدی از میراگرها در محل اتصال تیر به ستون پرداخته شده است. المانهای اصلی در میراگر پیشنهادی شامل لایه لاستیکی و پیچ‌های فولادی بوده؛ که در آن پیچ‌های فولادی به عنوان فیوز تعویض‌پذیر در نظر گرفته شده است. نتایج مطالعات آنها نشان داده است که تمامی نمونه‌ها تحت بارگذاری چرخه‌ای، دارای رفتار پایدار و بدون کاهش مقاومت در تغییر شکل‌های بزرگ بوده‌اند.

در مطالعه گروسی و همکاران [۱۶] به بررسی عددی و آزمایشگاهی ۴ نمونه اتصال همراه با فیوز تعویض‌پذیر با سطح مقطع کاهش یافته پرداخته شده است. هدف اصلی از این مطالعه بررسی مفهوم استفاده از سطح مقطع کاهش یافته در فیوزهای تعویض‌پذیر بوده است. نتایج مطالعه آنها نیز نشان داد که مفصل پلاستیک در قسمت فیوز با سطح مقطع کاهش یافته تشکیل شده و سایر المانهای اتصال در حالت الاستیک باقی مانده‌اند. همچنین پس از اعمال بارگذاری چرخه‌ای به نمونه‌ها، امکان تعویض آنها و اعمال بارگذاری مجدد وجود داشته است.

در مطالعه‌ای که ریچارد در سال ۲۰۱۹ میلادی انجام داد، به بررسی آزمایشگاهی ۴ نمونه با ابعاد کامل همراه با فیوز برشی تعمیرپذیر پرداخته شده است [۱۷]. در اتصال پیشنهادی ورق‌های فیوز توسط پیچ‌های پرمقاومت به بالهای تیر و ورق‌های تعبیه شده در ستون، متصل شده است. نتایج مطالعات آنها نشان داد که اتصالات پیشنهادی دارای قابلیت تعویض‌پذیری پس از وقوع زلزله بوده و سختی آنها فراتر از حدود تعیین شده برای اتصالات گیردار بوده است.

در مطالعه کانیلماز و همکاران [۱۸] در سال ۲۰۱۹ میلادی، به بررسی نوع جدیدی از قاب‌های کامپوزیتی فولادی-بتنی پرداخته شده، که نسبت به قابهای متداول، در برابر نیروی‌های لرزه‌ای مقاوم‌تر و مقرون به صرفه‌تر بوده است. در مطالعه آنها از وصله‌هایی استفاده شده است که بصورت اتصال پیچ و مهره به تیر متصل شده و با استهلاک انرژی لرزه‌ای به عنوان "فیوزهای سازه‌ای" عمل کرده است. نتایج مطالعات آنها نشان داد که مفاصل پلاستیک در قسمت ورق وصله تیر متمرکز شده و سایر المانهای اتصال در حالت الاستیک باقی مانده‌اند.

در مطالعه وانگ و همکاران [۱۹-۲۰] به بررسی عددی اتصال صلب همراه با فیوز T شکل تعویض‌پذیر، که از فولاد با مقاومت پایین ساخته شده، پرداخته شده است. بررسی‌های مطالعات آنها نشان داد که در اتصال پیشنهادی بدون افزودن تجهیزات و قطعات اضافی به اتصالات معمول تیر به ستون، که نیازمند صرف انرژی و هزینه می‌باشد، به اتصالی با اهداف عملکردی مورد نیاز دست پیدا کرده، که استفاده از آن را برای تمامی سازندگان مقصور ساخته است.

در مطالعه ژانگ و همکاران [۲۱]، به منظور بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌های فولادی با سیستم لوله‌ای و همچنین افزایش دوام و کاهش نقدهای مطرح شده بر این سازه‌ها، از فیوز برشی تعویض‌پذیر استفاده شده است. در اتصال پیشنهادی آنها، برای فیوز برشی از فولاد معمولی یا فولاد با مقاومت تسلیم پایین و برای تیر و ستون‌ها از فولاد با مقاومت بالا استفاده شده است. نتایج آزمایشگاهی نشان داده است که در طی اعمال بارگذاری چرخه‌ای، تغییر شکل‌های پلاستیک و خرابی‌ها در قسمت فیوز برشی متمرکز شده و سایر المانهای سازه در حالت الاستیک باقی مانده‌اند. این امر نشان دهنده این موضوع است که پس از زلزله با تعویض فیوز برشی، می‌توان سازه را مجدد مورد بهره‌برداری قرار داد؛ که کاهش هزینه بهسازی و افزایش طول عمر سازه را نیز در بر خواهد داشت.

در مطالعه لان و همکاران [۲۲] به بررسی آزمایشگاهی استفاده از ورق وصله با سطح مقطع کاهش یافته در تیر پرداخته شده است. در این مطالعه بر روی ۴ نمونه از اتصال پیشنهادی، ۶ نوع بارگذاری شبه استاتیکی انجام گردیده و در آن ضخامت ورق وصله با سطح مقطع کاهش یافته، تعداد و فاصله پیچ‌های آن و همچنین قابلیت تعویض‌پذیری پس از زلزله‌های طرح، مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج آزمایشات آنها نشان داد که مفصل پلاستیک در ناحیه مورد نظر (ورق وصله با سطح مقطع کاهش یافته) تشکیل شده و به راحتی امکان تعویض سریع فیوز پس از زلزله وجود داشته است.

در مطالعه Özkılıç در سال ۲۰۲۰ میلادی به ارائه اتصالی با قابلیت تعویض‌پذیری پرداخته شده است [۲۳]. در آن مطالعه المان فیوز، تیری با سطح مقطع کاهش یافته بوده که توسط ورق انتهایی به بال ستون و توسط ورق‌های وصله به قسمت اصلی تیر متصل شده

است. نتایج مطالعات آزمایشگاهی نشان داد که مفصل پلاستیک در قسمت کاهش یافته المان فیوز تشکیل شده و اتصال دارای قابلیت تعویض پذیری بوده است. همچنین Özkılıç و Topkaya در سال ۲۰۲۱ به ارائه جزئیات اتصال تیر پیوند در قاب‌های مهاربندی واگرا با قابلیت تعویض پذیری پرداختند [۲۴]. نتایج مطالعات آزمایشگاهی آنها نشان داد که صفحات انتهایی تیر پیوند که مطابق با ضوابط آیین نامه طراحی شده بودند، توانستند عملکرد قابل قبولی را از خود نشان داده و تعویض پذیری نیز در آنها امکان پذیر بوده است.

در مطالعه Lu و همکاران، به بررسی آزمایشگاهی عملکرد اتصالی همراه با فیوز محدود شده در برابر کمناش، پرداخته شده است [۲۵]. در آن مطالعه از ورق‌های وصله همراه با سوراخ‌های لوبیایی استفاده شده که در این قسمت نیز از ورق پوششی، به منظور جلوگیری از کمناش ورق‌های وصله استفاده شده است. نتایج مطالعه آنها نشان داد، مفصل پلاستیک در ورق‌های وصله تشکیل شده و امکان لغزش پیچ منجر به استهلاک انرژی بیشتر اتصال شده است.

در مطالعه Gowda و همکاران به استفاده از ناودانی پیچ شده به جان تیر به عنوان المان فیوز پرداخته شده است [۲۶]. در این مطالعه تاثیر پارامترهایی از قبیل ارتفاع ناودانی و پهناي بال آن بر روی عملکرد اتصال پیشنهادی به صورت عددی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج مطالعه آنها نشان داد، زمانیکه نسبت ارتفاع ناودانی به ارتفاع تیر برابر با ۰/۸۸ در نظر گرفته شده، بیشترین جذب انرژی در اتصال رخ داده است.

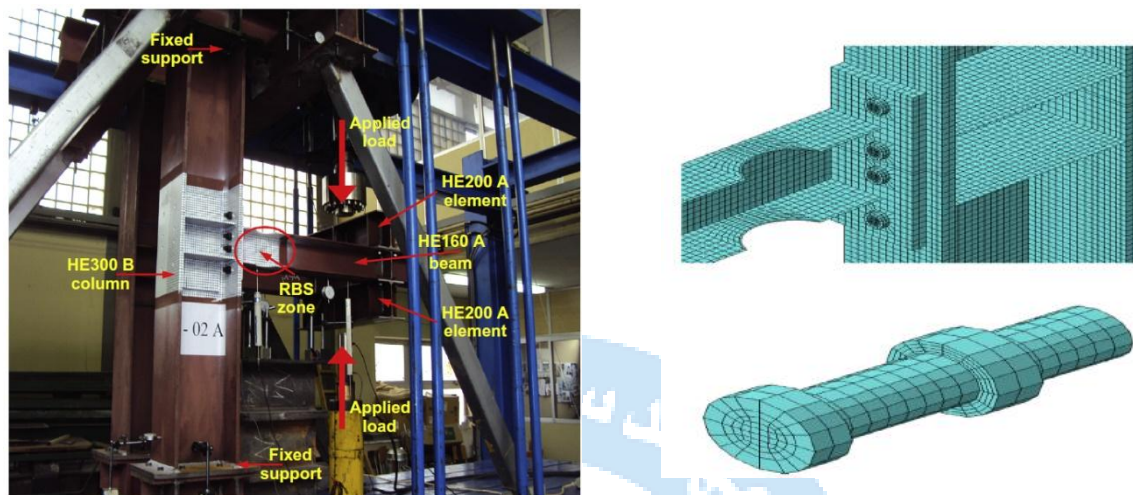
این نوع از اتصالات به سازه‌های فولادی محدود نشده و پیشنهاد استفاده از المانهای فولادی با قابلیت تعویض پذیری در اتصالات سازه‌های بتن آرمه نیز در سال‌های اخیر مطرح شده است [۲۷-۲۹]. در این مطالعات پس از اعمال بارگذاری چرخه‌ای، مفصل پلاستیک در المان فیوز فولادی متمرکز شده و قابلیت تعویض پذیری وجود داشته است.

در این مطالعه به بررسی عددی عملکرد یک اتصال گیردار با قابلیت تعویض پذیری تحت بارگذاری چرخه‌ای، پرداخته شده است. در اتصال پیشنهادی ورق‌های فیوز توسط پیچ‌های پرمقاومت به بال‌ها و جان تیر متصل شده و فرض بر آن است که پس از وقوع زلزله و تشکیل مفصل پلاستیک در ورق‌های فیوز، امکان تعویض آن وجود داشته و سازه قابلیت بهره برداری مجدد خواهد داشت. در اتصال پیشنهادی محل تشکیل مفصل پلاستیک و محل وصله تیر در یک نقطه در نظر گرفته شده است. از طرف دیگر طراحی به نحوی انجام شده که ورق‌های فیوز جان تیر در طول فرایند بارگذاری در حالت الاستیک باقی بمانند. در نتیجه زمان تشکیل مفصل پلاستیک در ورق‌های فیوز بال تیر و امکان گسیختگی آنها در تغییر مکان‌های زیاد، بدلیل وجود ورق‌های فیوز جان، سازه دچار فرو ریزش نخواهد شد. این موضوع امری است که در مطالعات گذشته به آن پرداخته نشده و در صورت گسیختگی در المان‌های فیوز سازه دچار فرو ریزش خواهد شد. در ادامه محدودیت‌های آیین‌نامه‌ای مطرح شده در طراحی لرزه‌ای، از جمله حداکثر نسبت پهنا به ضخامت بال یا جان تیر در قاب‌های خمشی با شکل پذیری ویژه، عدم تعبیه ورق‌های پیوستگی و یا ورق‌های مضاعف جان ستون و تاثیر آن در عملکرد اتصال مورد ارزیابی قرار گرفته است.

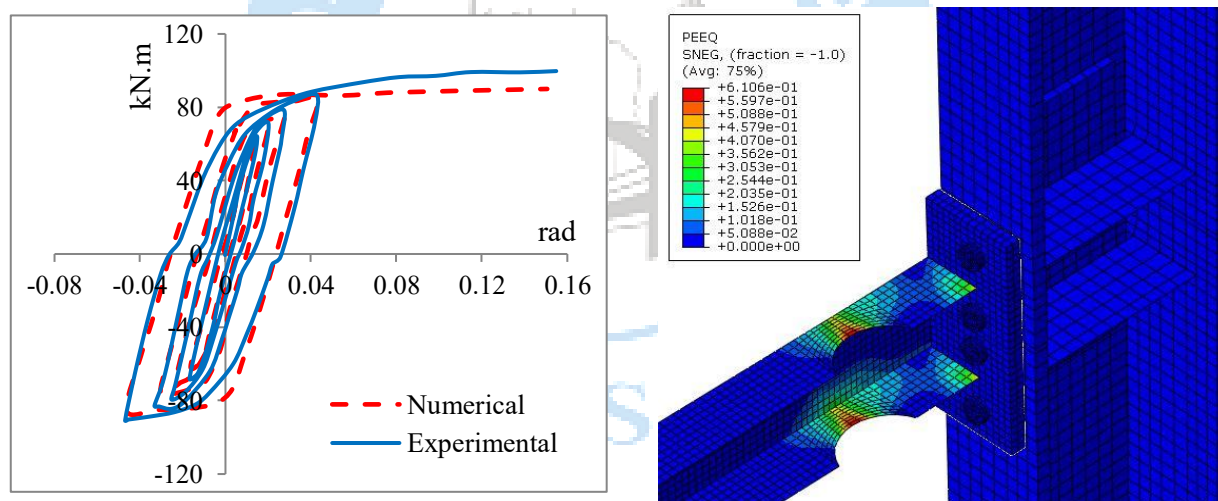
۲- صحت سنجی

به منظور صحت سنجی روش مدلسازی عددی در نرم افزار اجزای محدود آباکوس، به مدلسازی اتصال تیر با سطح مقطع کاهش یافته همراه با صفحه انتهایی پیچ شده به ستون، که در سال ۲۰۱۳ میلادی توسط سوفیاس و همکاران [۳۰] به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته، پرداخته شده است. در شکل ۱ پیکربندی آزمایش و مشی بندی مدل عددی، نمایش داده شده است. در مدلسازی تیر از المان ۴ گرهی (S4R) و در مدلسازی ستون، ورق انتهایی اتصال و پیچ‌ها از المان‌های ۸ گرهی توپر (C3D8R) استفاده شده است. نیروی پیش تنیدگی پیچ‌ها نیز از نوع Bolt load و در صفحه‌ای عمود بر امتداد محور طولی پیچ و در حد فاصل بین گل پیچ و مهره وارد شده است. به منظور کاهش زمان انجام محاسبات از خاصیت تقارن مدل استفاده شده و نیمی از آن در نرم افزار مدلسازی شده است. در مطالعه آنها نمودارهای لنگر- دوران برای فواصل ۴۰ و ۶۰۰ میلیمتری از بر ستون و مرکز قسمت کاهش یافته، تحت بارگذاری چرخه‌ای استاندارد [۳۱] AISC استخراج شده است. در شکل ۲ نمودار لنگر- دوران (M-θ) برای نمونه RBSb در فاصله ۶۰۰ میلیمتری از بر ستون نمایش داده شده و نتایج عددی و آزمایشگاهی آن مورد مقایسه قرار گرفته است. همان طور که مشاهده می‌شود نتایج عددی و آزمایشگاهی

از مطابقت مناسبی برخوردار بوده، که مقایسه نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. بر این اساس اختلاف میان جذب انرژی، سختی، تغییر مکان تسلیم و نهایی در مدل آزمایشگاهی نسبت به مدل عددی به ترتیب برابر با ۴/۳۹، ۰/۷۷، ۲/۸۰ و ۲/۷۶ درصد، بدست آمده است. همچنین نتایج عددی نشان داده است که مفصل پلاستیک در قسمت کاهش یافته تشکیل شده و سایر المانهای اتصال در حالت الاستیک باقی مانده‌اند. این امر در نتایج کرنش پلاستیک معادل مدل عددی (PEEQ) که در شکل ۲ نمایش داده شده، قابل مشاهده بوده است.



شکل ۱: پیکربندی آزمایش و مش بندی نمونه عددی [۳۰]



شکل ۲: مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی

جدول ۱: نتایج حاصل تحلیل عددی و آزمایشگاهی

مدل	جذب انرژی (kN.m)	سختی (kN/m)	Θ_y %	Θ_u %
عددی	۱۲/۴۵۲	۴۱۶۷/۸۰۷	۱/۵۲۹	۱۵/۰۸۱
آزمایشگاهی [۳۰]	۱۳/۰۲۵	۴۲۰۰/۳۲۰	۱/۴۸۶	۱۵/۵۱۰

اختلاف	۴٪/۳۹	۰٪/۷۷	۲٪/۸۰	۲٪/۷۶
--------	-------	-------	-------	-------

۳- مشخصات نمونه

در تمامی نمونه‌ها طول ستون برابر با ۲۰۰۰ میلیمتر و طول تیر از مرکز ستون تا محل اعمال بار برابر با ۱۴۴۵ میلیمتر در نظر گرفته شده است. از آنجایی که در این مطالعه هدف بررسی شکست در تیر می‌باشد، در این راستا ابعاد مقطع ستون و مشخصات چشمه اتصال به نحوی انتخاب شده است که بر روی رفتار کلی اتصال تأثیری نداشته باشد [۳۲]. بدین منظور در چشمه اتصال از ورق‌های پیوستگی و مضاعف استفاده شده، به طوری که مدول مقطع ستون بیشتر از ۲ برابر مدول مقطع تیر بوده است؛ تا اطمینان حاصل گردد مفصل پلاستیک در تیر تشکیل خواهد شد [۱۶]. ابعاد تیر و ستون که از نوع فشرده لرزه‌ای می‌باشند، در جدول ۲ آورده شده است. همچنین مشخصات مصالح مورد استفاده در مدلسازی نمونه‌ها نیز در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲: ابعاد مقاطع تیر و ستون

	جان (mm)	بال (mm)
تیر	۱۹۰×۸	۲۰۰×۱۵
ستون	۲۰۰×۱۰	۲۴۰×۲۰

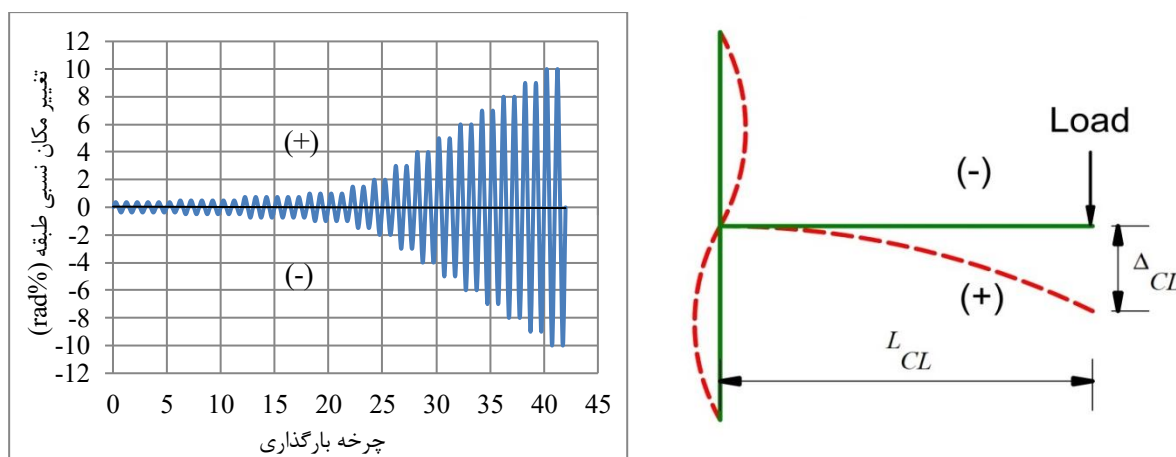
جدول ۳: مشخصات مصالح [۱۶]

کرنش شکست	تنش نهایی (MPa)	تنش تسلیم (MPa)	مدول الاستیسیته (GPa)
۲۹/۸	۳۷۲/۱	۲۴۰/۱	۱۹۱/۷
۱۳/۰	۱۰۴۶/۶	۸۲۱/۶	۲۱۱/۱

انصال دهنده‌ها (10.9)

۴- پروتکل بارگذاری

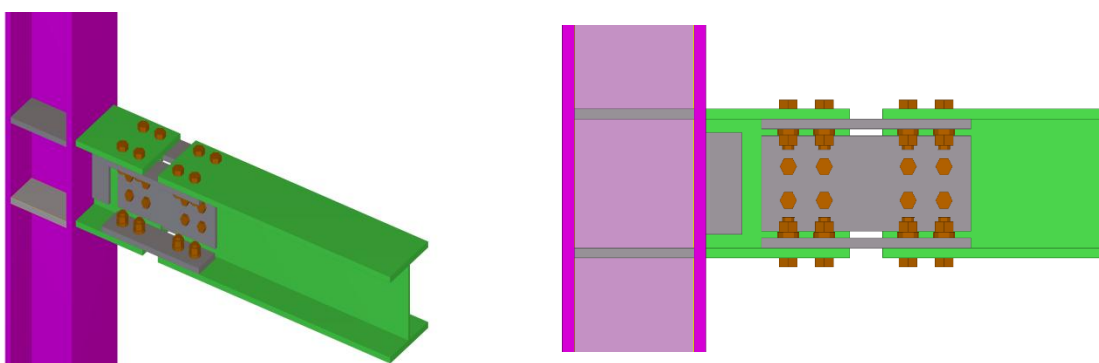
در این مطالعه به منظور بررسی عملکرد چرخه‌ای اتصال پیشنهادی از پروتکل بارگذاری ارائه شده در آیین نامه [۳۳] FEMA 350 استفاده شده که از آن در مطالعات بسیاری به منظور بررسی رفتار اتصال تیر به ستون فولادی استفاده شده است [۳۴-۳۸]. در این بارگذاری برای تغییر مکان نسبی ۰/۰۰۳۷۵، ۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۷۵ رادیان ۶ چرخه، برای تغییر مکان نسبی ۰/۰۱، ۰/۰۱۵ و ۰/۰۲ رادیان به ترتیب ۲، ۴ و ۲ چرخه در نظر گرفته شده است و در مراحل بعد با اضافه شدن ۰/۰۱ رادیان در هر مرحله و اعمال ۲ چرخه، بارگذاری تا شکست کامل اتصال، ادامه خواهد یافت. در این مطالعه اعمال بارگذاری به انتهای تیر صورت پذیرفته و برای تمامی نمونه‌ها بارگذاری تا تغییر مکان نسبی ۰/۸ رادیان ادامه یافته پس از آن بارگذاری متوقف شده است. همچنین تکیه‌گاه‌های انتهای ستون نیز بصورت مفصلی فرض شده است. در شکل ۳ پروتکل بارگذاری و نحوه اعمال بارگذاری نمایش داده شده است.



شکل ۳: پروتکل بارگذاری و نحوه اعمال بار

۵- طراحی نمونه‌ها

در این مطالعه به بررسی عملکرد اتصالی با قابلیت تعویض پذیری پرداخته شده است. در اتصال پیشنهادی از ورق به عنوان المان فیوز استفاده شده است. نحوه اتصال ورق‌ها به جان و بال‌های تیر بوسیله پیچ‌های پرمقاومت (۱۰.۹) انجام پذیرفته و اتصال از نوع مقاوم در برابر لغزش در نظر گرفته شده است. در این اتصال، تیر به ۲ قسمت تقسیم می‌گردد، قسمت کوتاه که توسط جوش شیار با نفوذ کامل به ستون متصل شده و قسمت اصلی که توسط المان فیوز و به کمک پیچ‌های پرمقاومت به مجموعه اضافه می‌گردد. در این اتصال فرض بر آن است که بدلیل کاهش ارتفاع مقطع المان فیوز نسبت به ارتفاع تیر و در نتیجه کاهش ممان اینرسی آن حول محور قوی، مفصل پلاستیک در فیوز تشکیل گردد و اتصال تیر به ستون از هرگونه شکست و خرابی مصون بماند؛ که این امر یکی از معیارهای اصلی مطرح شده در آیین نامه‌های بین‌المللی [۱]، در طراحی لرزه‌ای اتصالات از پیش تایید شده می‌باشد. از طرف دیگر اتصال فیوز به بال‌های تیر موجب می‌گردد که تیر در این ناحیه تقویت شده و مفصل پلاستیک را به سمت فیوز در ناحیه‌ای که هیچگونه اتصالی با بال‌ها و جان تیر ندارند، هدایت نماید. همان‌طور که پیشتر نیز مطرح گردید، تقویت اتصال در بر ستون یا تضعیف ناحیه‌ای از تیر در فاصله‌ای مشخص از بر ستون، روش‌هایی بوده است که تاکنون در اتصالات از پیش تایید شده مورد استفاده قرار گرفته است. در این راستا اتصال پیشنهاد شده در این مطالعه نیز به دلیل کاهش ارتفاع مقطع در فاصله‌ای مشخص از بر ستون، می‌تواند در دسته بندی اتصالات تیر با سطح مقطع کاهش یافته قرار گیرد. در اتصال پیشنهاد شده فرض بر آن است که پس از وقوع زلزله، المان‌های تیر و ستون کاملاً در حالت الاستیک باقی بمانند و بوسیله باز کردن پیچ‌های المان فیوز و تعویض آنها، سازه به حالت اولیه بازگشته و مجدد قابلیت بهره برداری داشته باشد. جزئیات اتصال پیشنهادی در شکل ۴ نمایش داده شده است.



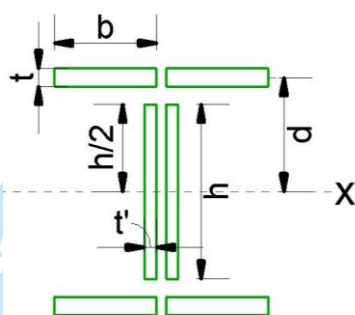
شکل ۴: اتصال پیشنهادی

در ادامه روش طراحی اتصال پیشنهادی به صورت گام به گام آورده شده است:

گام ۱: محاسبه حداکثر لنگر خمشی محتمل در محل تشکیل مفصل پلاستیک (M_{pr})

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_x \quad (1)$$

با توجه به هندسه فیوز (شکل ۵) در اتصال پیشنهادی، اساس مقطع پلاستیک آن از رابطه (۲) محاسبه میگردد. در رابطه (۱)، C_{pr} ضریب سخت شدگی کرنشی، R_y نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شده مصالح، F_y تنش تسلیم فولاد و Z_x اساس مقطع پلاستیک حول محور X



شکل ۵: نمایی از هندسه فیوز در اتصال پیشنهادی

$$Z_x = 4btd + \frac{h^2 t'}{2} \quad (2)$$

گام ۲: محاسبه نیروی برشی در محل تشکیل مفصل پلاستیک که مطابق با رابطه (۳) محاسبه میگردد.

$$V_{pr} = \frac{2M_{pr}}{L_h} + \frac{W_u L_h}{2} \quad (3)$$

گام ۳: محاسبه حداکثر لنگر خمشی محتمل در بر ستون که مطابق با رابطه (۴) محاسبه میگردد.

$$M_f = M_{pr} + V_{pr} S_h \quad (4)$$

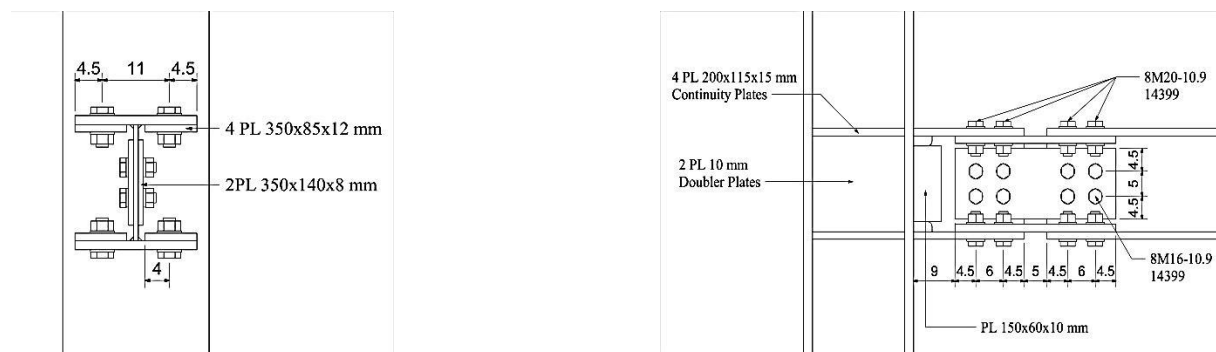
گام ۴: کنترل لنگر پلاستیک تیر بر اساس تنش تسلیم مورد انتظار با حداکثر لنگر خمشی محتمل در بر ستون مطابق با رابطه (۵)

$$M_f \leq \varphi_d M_{p-beam} \quad (\varphi_d = 1) \quad (5)$$

در روابط فوق W_u بار ثقلی ضریبدار، L_h فاصله بین مفاصل پلاستیک، M_f لنگر در بر ستون، M_{p-beam} ظرفیت خمشی تیر، V_{pr} برش در محل مفصل پلاستیک می‌باشد.

در اتصال پیشنهادی ابعاد ورق فیوز براساس محدودیت‌های حداقل فواصل بین سوراخ پیچ‌ها و حداقل فاصله بین سوراخ پیچ و لبه ورق فیوز یا تیر انتخاب شده است. فاصله بین دو قسمت تیر که یکی از پارامترهای مهم و تاثیرگذار در عملکرد اتصال می‌باشد، برابر با ۵۰

میلیمتر در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است در مراحل طراحی، ضابطه ستون قوی-تیر ضعیف نیز که در قاب‌های خمشی ویژه الزام می‌باشد، در طراحی اتصال پیشنهادی براساس آیین نامه [1] AISC 358-16 کنترل شده است. با توجه به روند طراحی مطرح شده، جزئیات اتصال در شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۶: جزئیات اتصال پیشنهادی

به منظور بررسی عملکرد اتصال پیشنهادی تحت بارگذاری چرخه‌ای، از نرم افزار اجرای محدود آباکوس استفاده شده است. در مدلسازی، تمامی اجزای اتصال از المان‌های توپر ۸ گرهی (Solid) استفاده شده است. همچنین در قسمت‌هایی که جوش شیاری با نفوذ کامل مدنظر بوده، المان‌های مورد نظر به کمک دستور merge با یکدیگر ادغام شده است، تا بتواند بصورت کامل عملکرد آن را شبیه سازی نماید. در بین سطوحی از اتصال که با یکدیگر در تماس هستند، دستور Hard contact استفاده شده و ضریب اصطکاک بین سطوح نیز برابر با ۰/۳۰ در نظر گرفته شده است. نیروی پیش تنیدگی پیچ‌ها از نوع Bolt Load و در صفحه‌ای عمود بر امتداد محور طولی پیچ، واقع در فاصله میانی بین گل پیچ و مهره، اعمال گردیده است.

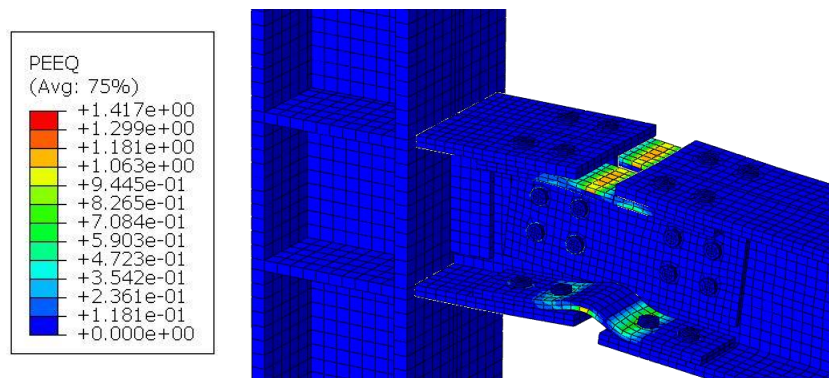
۶- نتایج

۶-۱- تاثیر ظرفیت خمشی فیوز بر عملکرد اتصال

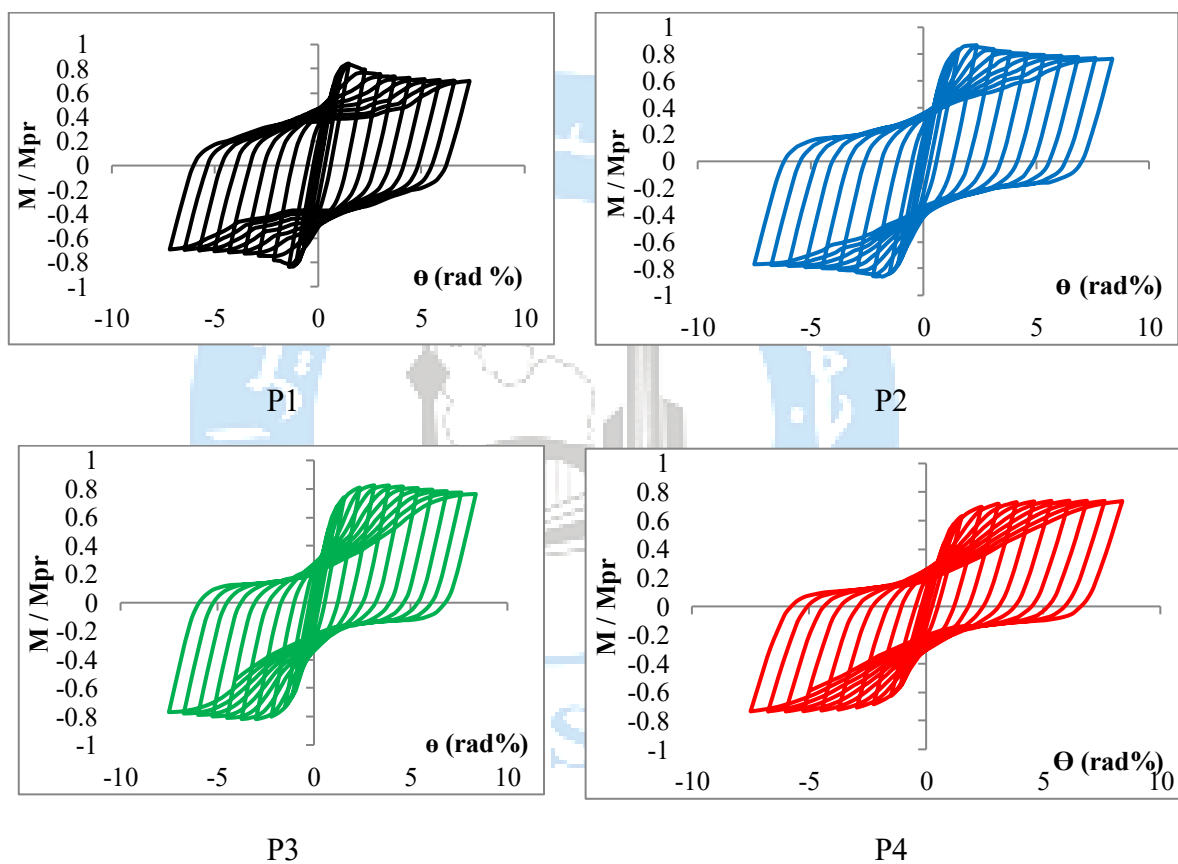
در این بخش از مطالعه به بررسی عملکرد چرخه‌ای اتصال مورد نظر پرداخته شده است. توزیع کرنش پلاستیک معادل و همچنین نمودارهای چرخه‌ای اتصال پیشنهادی به ترتیب در شکل‌های ۷ و ۸ نمایش داده شده است. همان طور که در شکل ۷ قابل مشاهده است، مفصل پلاستیک در محل ورق‌های فیوز تشکیل شده و سایر المان‌های اتصال از قبیل تیر و ستون در ناحیه الاستیک باقی مانده‌اند. همچنین بیشترین میزان کرنش پلاستیک در ناحیه مرکزی ورق‌های فیوز بال تیر متمرکز بوده است. با توجه به توزیع کرنش پلاستیک معادل در ورق جان، این ورق نیز پس از بارگذاری در حالت الاستیک باقی مانده و این امکان را بوجود می‌آورد که ورق‌های تغییر شکل یافته بال، بدون نیاز به در نظر گرفتن جک در زیر تیرها، قابلیت تعویض داشته باشند؛ که این موضوع یکی از مزیت‌های مهم اتصال پیشنهادی نسبت به سایر اتصالات پیشنهاد شده توسط سایر پژوهشگران بوده است. در این حالت لازم است تا به کمک تمهیداتی از قبیل در نظر گرفتن کابل‌های پرمقاومت، ابتدا سازه پس از تغییر شکل‌های ماندگار به حالت اولیه بازگشته و تعویض ورق‌های بال تیر انجام گردد. همان طور که در شکل ۸ نیز قابل مشاهده است، بدلیل کماتش ورق‌های فیوز بال تیر، قبل از رسیدن به حداکثر ظرفیت خمشی محتمل در نظر گرفته شده در طراحی، ظرفیت خمشی اتصال پیشنهادی ۱۴ درصد از ظرفیت خمشی فیوز کمتر بدست آمده است. علت فرو رفتگی یا پینچینگ

رخ داده در نمودارهای چرخه‌ای اتصال پیشنهادی، کماتش ورق‌های فیوز بال تیر در زمان اعمال بارگذاری چرخه‌ای بوده است. علیرغم طراحی این ورق‌ها در برابر کماتش، با توجه به اینکه علاوه بر نیروی فشاری ایجاد شده در آنها در اثر بارگذاری چرخه‌ای اعمالی، انتهای تیر نیز نیرویی در جهت قائم به آنها اعمال می‌نماید؛ این امر موجب کماتش زود هنگام و نرسیدن به ظرفیت واقعی فیوز شده است. تغییر جهت بارگذاری و ایجاد نیروی کششی در ورق‌های فیوزی که پیشتر دچار کماتش شده‌اند، مقدار کمتری نیرو و صرف تغییر شکل ایجاد شده در اثر کماتش شده و پس از آن ورق‌های فیوز به کشش می‌افتند. در نتیجه با توجه به کاهش سختی اتصال در ناحیه فیوز، پینچینگ یا فرو رفتگی در نمودارهای چرخه‌ای مشاهده شده، که می‌توان به عنوان یکی از ضعف‌های اتصال پیشنهادی مطرح شود. اما با توجه به قابلیت تعمیرپذیری اتصال پیشنهادی، می‌توان در مواقعی که سرنوشت سازه پس از زلزله حائز اهمیت بوده و می‌بایست در کمترین زمان ممکن و با کمترین هزینه قابلیت استفاده مجدد را داشته باشد، این عیب را پذیرفت و این اتصال را جایگزین اتصالات از پیش تایید شده مبحث دهم مقررات ملی ساختمان نمود. از سوی دیگر نتایج به دست آمده از منحنی‌های چرخه‌ای اتصال نشان داد، که با توجه به کماتش زود هنگام ورق‌های فیوز بال تیر قبل از رسیدن به ظرفیت خمشی در نظر گرفته شده در طراحی، نسبت لنگر خمشی به دست آمده به لنگر پلاستیک اسمی مقطع تیر در تغییر مکان نسبی $0/04$ رادیان، در حدود $0/86$ بوده که مطابق با ضوابط مطرح شده در استانداردهای بین‌المللی استفاده از اتصال پیشنهادی در قاب‌های خمشی ویژه بلامانع بوده است. اما با توجه به اینکه این مقدار به مرز تعیین شده توسط آیین‌نامه نزدیک می‌باشد و از طرف دیگر عدم دستیابی به ظرفیت خمشی در نظر گرفته شده در طراحی بدلیل کماتش ورق‌های فیوز بال تیر بوده است؛ در نتیجه افزایش ظرفیت خمشی فیوز می‌تواند راهکار مناسبی برای بهبود اتصال پیشنهادی باشد. در این راستا برای بررسی‌های بیشتر عملکرد اتصال مذکور، در مرحله بعد، ضخامت ورق‌های فیوز بال تیر برابر با 10 ، 15 و 20 میلیمتر در نظر گرفته شده است. خلاصه‌ای از نتایج در جدول ۴ آورده شده است.

همان‌طور که نتایج تحلیل عددی اتصال پیشنهادی نشان می‌دهد، با افزایش ضخامت ورق‌های فیوز، ظرفیت خمشی اتصال افزایش یافته است. در مدل‌های P1 و P2 که در آنها رابطه (۵) برقرار بوده است، نسبت لنگر بدست آمده از تحلیل عددی اتصال به حداکثر لنگر خمشی محتمل فیوز، برابر با $0/86$ بوده و در نمونه‌های P3 و P4 که در آنها رابطه (۵) برقرار نبوده است، این نسبت به ترتیب برابر با $0/82$ و $0/73$ بوده که نسبت به دو نمونه قبل کاهش داشته است. دلیل این امر را می‌توان به ایجاد کرنش‌های پلاستیک در بال‌های تیر نسبت داد؛ که در این صورت خاصیت تعویض پذیر بودن اتصال زیر سوال خواهد رفت. در نتیجه در این حالت هر مقدار از ضوابط آیین‌نامه فاصله گرفته شود، تاثیرات سوء بر عملکرد اتصال پیشنهادی، محسوس‌تر بوده است. تصاویری از کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) در نمونه‌ها P3 و P4 در شکل ۹ نمایش داده شده است.



شکل ۷: توزیع کرنش پلاستیک اتصال پیشنهادی (P2)



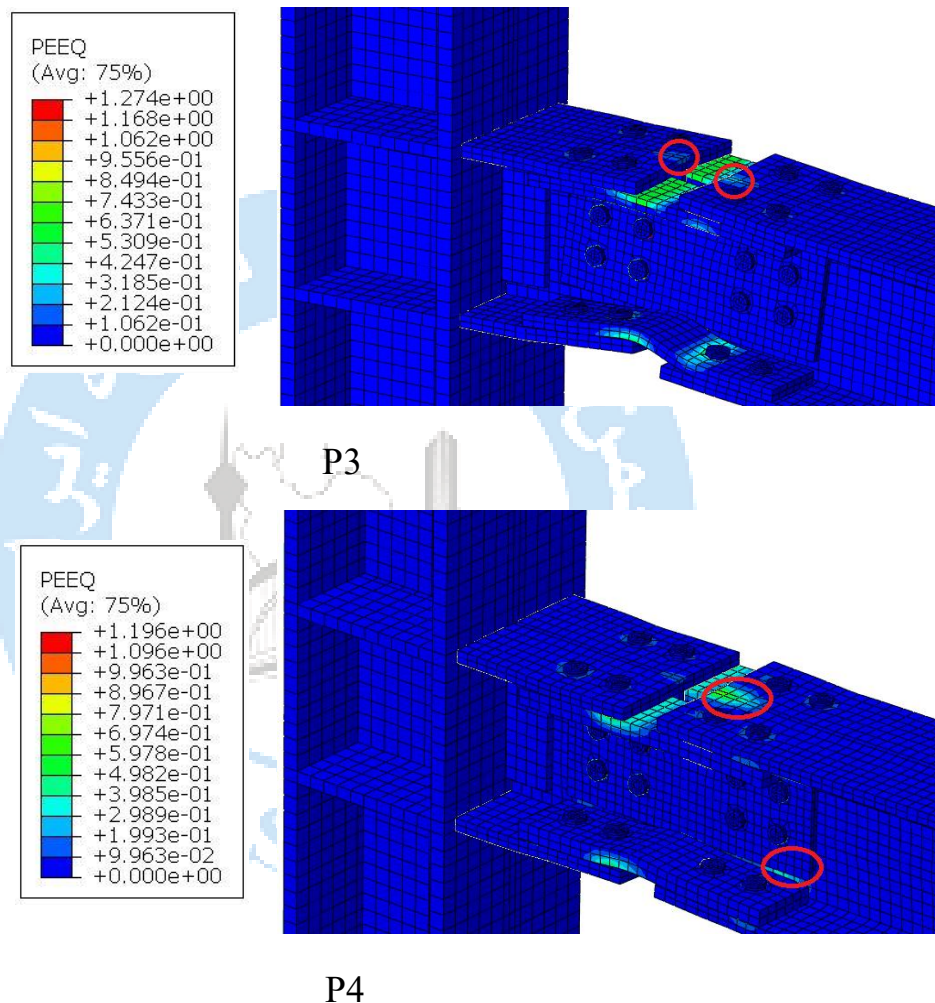
شکل ۸: نمودار چرخه‌ای اتصال پیشنهادی P1 الی P4

جدول ۴: نتایج تحلیل عددی اتصال پیشنهادی

مدل	t (mm)	M_f (kN.m)	M_{p-beam} (kN.m)	M_f / M_{p-beam}	M (kN.m)	M_{pr} (kN.m)	M / M_f
P1	۱۰	۱۳۹/۴۸	۱۶۴/۹۳	۰/۸۴	۹۸/۶۱	۱۱۳/۹۰	۰/۷۰

P2	۱۲	۱۶۰/۴۷	۱۶۴/۹۳	۰/۹۷	۱۱۳/۳۵	۱۳۱/۰۴	۰/۷۰
P3	۱۵	۱۹۱/۹۴	۱۶۴/۹۳	۱/۱۶	۱۲۹/۸۴	۱۵۶/۷۴	۰/۶۷
P4	۲۰	۲۴۴/۴۱	۱۶۴/۹۳	۱/۴۸	۱۴۰/۶۲	۱۹۹/۵۸	۰/۵۷

M حداکثر لنگر خمشی بدست آمده از تحلیل اتصال
t ضخامت ورق‌های فیوز بال تیر



شکل ۹: توزیع کرنش پلاستیک معادل در نمونه‌های P3 و P4

همان طور که در شکل ۹ نیز قابل مشاهده است، در مدل‌های P3 و P4 کرنش پلاستیک معادل در محل اتصال بال به جان تیر، ایجاد شده است. این امر می‌تواند بدلیل ضخامت بیشتر ورق فیوز نسبت به ضخامت بال تیر باشد، که در هنگام ایجاد کشش و فشار در ورق فیوز، موجب تمرکز تنش در ناحیه اتصال بال به جان تیر شده است. این مقدار برای نمونه P3 قابل چشم پوشی بوده و می‌توان از قابلیت تعویض پذیری اتصال همچنان استفاده نمود. با این وجود در مدل P4 میزان کرنش‌های پلاستیک در محل اتصال بال به جان تیر و همچنین در قسمتی از جان تیر، که در شکل ۹ با دایره‌های قرمز رنگ نمایش داده شده، کاملاً محسوس بوده است. این امر موجب گردیده

که اتصال پیشنهادی دیگر قابلیت تعویض پذیری نداشته باشد. با توجه به نتایج بدست آمده در این بخش می‌توان دو حالت را برای طراحی این اتصال مد نظر قرار داد:

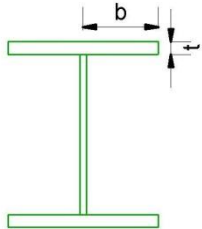
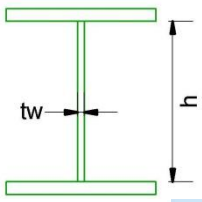
حالت اول: از دست دادن ۱۴ درصدی حداکثر ظرفیت خمشی محتمل در محل تشکیل مفصل پلاستیک و رعایت ضوابط مطرح شده در طراحی لرزه‌ای اتصالات و همچنین بدست آوردن یک اتصال با خاصیت تعویض پذیری مطمئن.
حالت دوم: افزایش ۱۴ درصدی ظرفیت خمشی فیوز از ظرفیت مورد نیاز و در نظر گرفتن ضوابط سخت گیرانه‌تر در طراحی.
در این راستا سایر بررسی‌های عملکردی اتصال پیشنهادی برای مدل‌های P2 (حالت اول) و P3 (حالت دوم) انجام شده است.

۶-۲- تاثیر ابعادی مقطع تیر بر عملکرد اتصال

مطابق با ضوابط مطرح شده در آیین نامه [1] AISC 358-16، تیرها در قاب خمشی ویژه می‌بایست از نوع فشرده لرزه‌ای با محدودیت حداکثر نسبت پهنا به ضخامت برابر با λ_{hd} مطابق با جدول ۵ باشند. در این راستا به منظور بررسی این موضوع و تاثیر عدم رعایت ضوابط مذکور در عملکرد اتصال پیشنهادی، ضخامت‌های مختلف بال و جان تیر در نظر گرفته شده است. در جدول ۶ نمونه‌های مورد بررسی معرفی شده است.

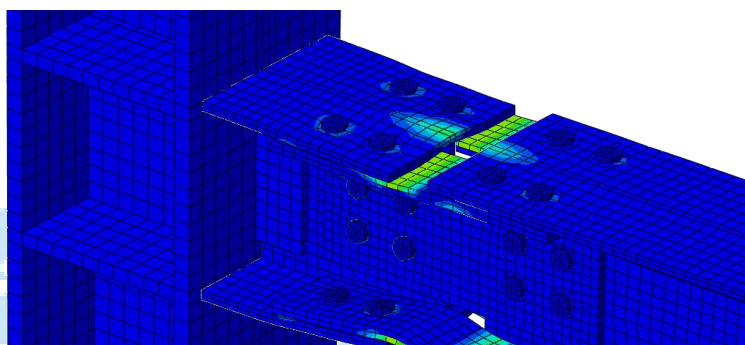
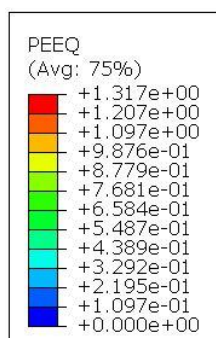
در بررسی حداکثر نسبت پهنا به ضخامت در بال تیر تحت بارگذاری چرخه‌ای، ضخامت‌های بال تیر ۱۵ و ۱۲ میلیمتر به ترتیب ۲۳٪ و ۴٪ کمتر از حداکثر میزان تعیین شده توسط آیین نامه و ضخامت بال تیر ۱۰ میلیمتر، ۱۵٪ فراتر از آن در نظر گرفته شده است. همان طور که در شکل ۱۰ قابل مشاهده است، در مدل P2 و P3 زمانیکه ضخامت بال تیر برابر با ۱۰ میلیمتر فرض شده، اعوجاج در قسمت بال تیر کاملاً مشهود بوده و کرنش‌های پلاستیک معادل در قسمت اتصال بال به جان تیر متمرکز شده است؛ که این امر در مدل P3 نسبت به مدل P2 با شدت بیشتری به وقوع پیوسته است. این امر بدلیل آن است که نیروی کششی ایجاد شده در ورق‌های فیوز بال تیر از میزان قابل تحمل توسط بال تیر بیشتر بوده و موجب ایجاد کرنش‌های فرا الاستیک در محل اتصال بال به جان تیر شده است. زمانیکه در مدل‌های مذکور ضخامت بال تیر برابر با ۱۲ میلیمتر در نظر گرفته شده، در هر دو مدل اعوجاج در بال تیر مشاهده نشده، اما میزان کرنش پلاستیک معادل در محل اتصال بال به جان تیر به نحوی بوده است که می‌تواند قابلیت تعویض پذیری اتصال را با خطر روبرو سازد. از طرفی زمانیکه ضخامت بال تیر برابر با ۱۵ میلیمتر فرض شده است، در هر دو مدل P2 و P3 هیچگونه اعوجاجی در بال‌های تیر مشاهده نشده و همچنین کرنش پلاستیک معادل در محل اتصال بال به جان تیر نزدیک به صفر گزارش شده است. همچنین نتایج بدست آمده از میزان جذب انرژی در اتصال پیشنهادی در حالات مذکور نشان دهنده تاثیر محسوس‌تر عدم رعایت ضوابط آیین نامه در مدل P3 نسبت به مدل P2 بوده است. در نتیجه به منظور اطمینان از قابلیت تعویض‌پذیری اتصال پیشنهادی، در مدل مورد بررسی می‌بایست نسبت پهنا به ضخامت بال تیر حداقل به میزان ۲۰٪ از حد تعیین شده توسط آیین نامه، کمتر در نظر گرفته شود.

جدول ۵: محدودیت نسبت پهنا به ضخامت برای مقاطع فشرده لرزه‌ای

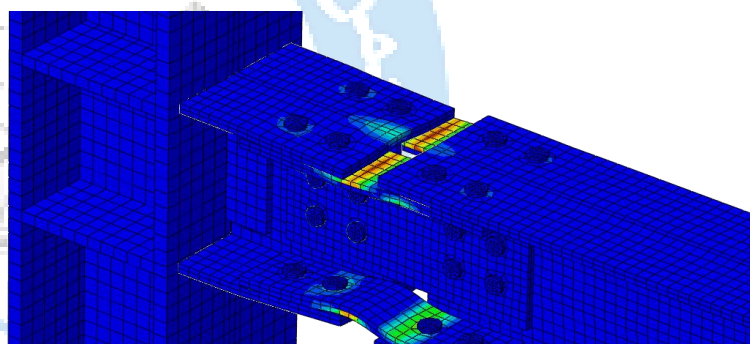
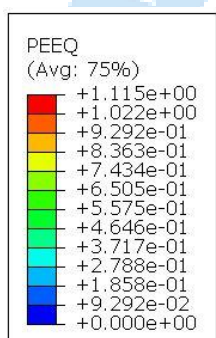
شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	اعضا با شکل پذیری زیاد	مثال‌های نمونه
	λ_{hd}		
بال‌های مقاطع I شکل ساخته شده از ورق	b/t_f	$0.3 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
جان مقاطع I شکل وقتی به عنوان تیر یا ستون به کار می‌روند.	h/t_w	$C_a \leq 0.125$ $2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 0.93 C_a)$ $C_a = \frac{P_u}{\phi_c P_y}$	

Model	(λ_{hd})	t (mm)	t_f (mm)	t_w (mm)	b/t_f	h/t_w	$\frac{b/t_f}{\lambda_{hd}}$ or $\frac{h/t_w}{\lambda_{hd}}$	Energy Dissipation (kN-m)
P2		۱۲	۱۵	۸	۶/۶۷	۲۳/۷۵	۰/۷۷	۸/۰۹۲
P2- t_f -12mm		۱۲	۱۲	۸	۸/۳۴	۲۳/۷۵	۰/۹۶	۸/۰۵۷
P2- t_f -10mm	۸/۶۶	۱۲	۱۰	۸	۱۰	۲۳/۷۵	۱/۱۵	۷/۹۳۹
P3		۱۵	۱۵	۸	۶/۶۷	۲۳/۷۵	۰/۷۷	۹/۶۳۲
P3- t_f -12mm		۱۵	۱۲	۸	۸/۳۴	۲۳/۷۵	۰/۹۶	۹/۱۱۵
P3- t_f -10mm		۱۵	۱۰	۸	۱۰	۲۳/۷۵	۱/۱۵	۸/۷۳۷
P2		۱۲	۱۵	۸	۶/۶۷	۲۳/۷۵	۰/۳۳	۸/۲۶۳
P2-W-6mm	۷۰/۲۲	۱۲	۱۵	۶	۶/۶۷	۳۱/۶۷	۰/۴۵	۷/۸۳۱
P2-W-5mm		۱۲	۱۵	۵	۶/۶۷	۳۸/۰۰	۰/۵۳	۷/۵۰۴
P2-W-4mm		۱۲	۱۵	۴	۶/۶۷	۴۷/۵۰	۰/۶۷	۷/۰۵۱

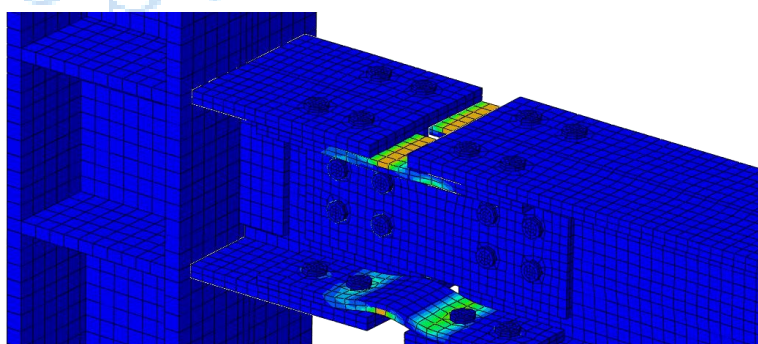
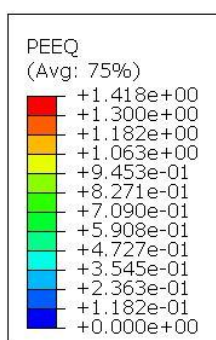
P3	۱۵	۱۵	۸	۶/۶۷	۲۳/۷۵	۰/۳۳	۹/۶۳۲
P3-W-6mm	۱۵	۱۵	۶	۶/۶۷	۳۱/۶۷	۰/۴۵	۹/۰۷۹
P3-W-5mm	۱۵	۱۵	۵	۶/۶۷	۳۸/۰۰	۰/۵۳	۸/۴۷۹



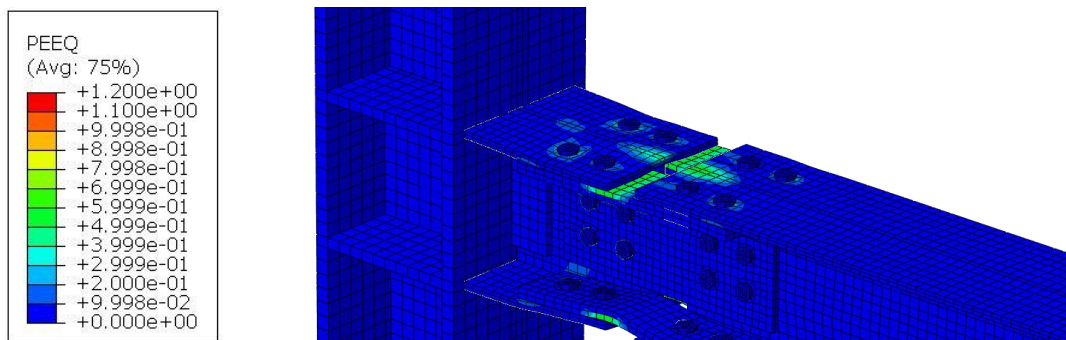
P2-tf-10mm



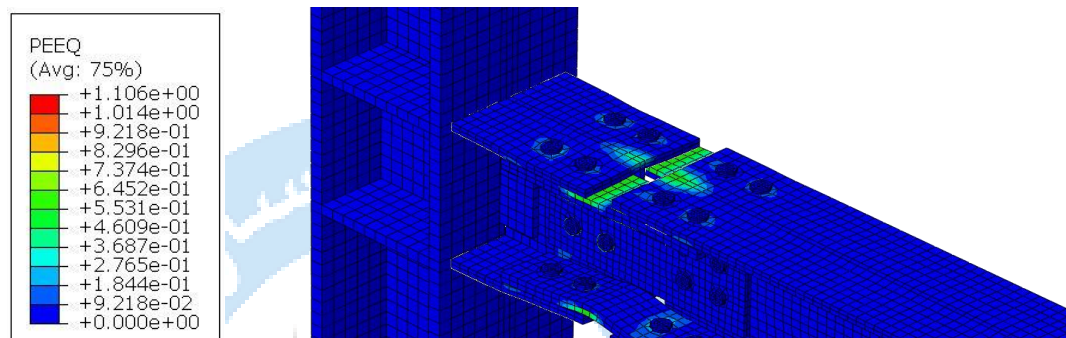
P2-tf-12mm



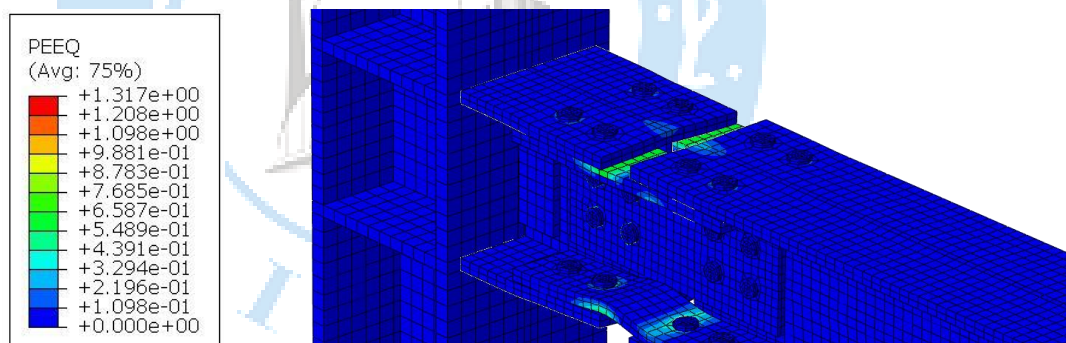
P2-tf-15mm



P3-tf-10mm



P3-tf-12mm



P3-tf-15mm

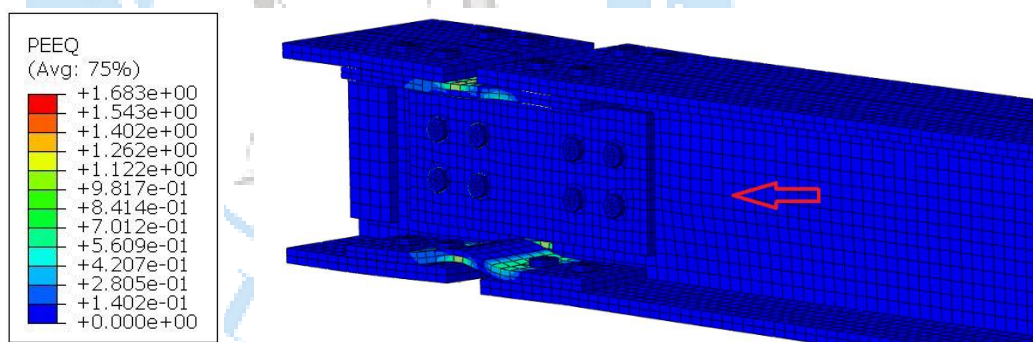
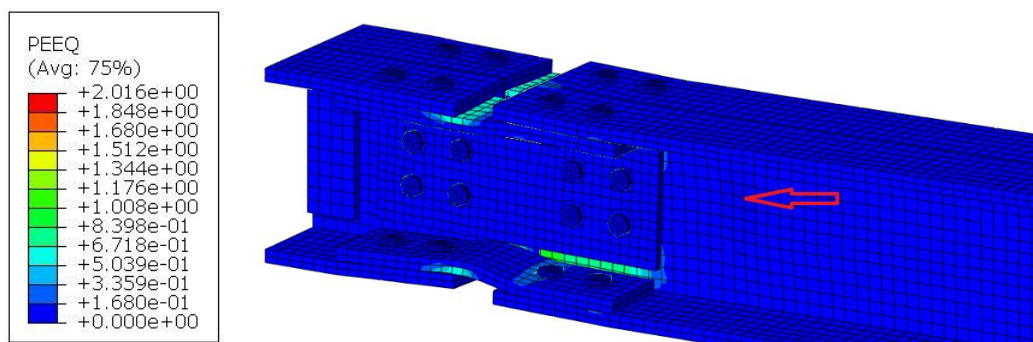
شکل ۱۰: کرنش پلاستیک معادل در نسبت‌های پهنا به ضخامت بال تیر متفاوت

با توجه به ضوابط طراحی، ضخامت‌هایی که می‌توان برای ورق جان تیر در نظر گرفت، در مدل P2 ضخامت‌های ۴، ۵، ۶ و ۸ میلیمتر بوده و در مدل P3 ضخامت‌های ۵، ۶ و ۸ میلیمتر می‌باشد. در تمامی ضخامت‌های مطرح شده در هر دو مدل P2 و P3 حد تعیین شده توسط آیین نامه برای شکل پذیری زیاد رعایت شده است. نتایج نشان داده است که در مدل P2 با ضخامت ورق‌های جان تیر ۴، ۵ و ۶ میلیمتر، کرنش پلاستیک معادل و اعوجاج در ورق جان تیر مشاهده شده و قابلیت تعویض پذیری برای اتصال وجود نداشته است؛ در حالی که در ضخامت ورق جان تیر ۸ میلیمتر، ورق جان تیر در حالت الاستیک باقی مانده و اتصال قابلیت تعویض پذیری خود را حفظ نموده است. در مدل P3 نیز اعوجاج و کرنش پلاستیک معادل در ضخامت‌های ورق جان تیر ۵ و ۶ میلیمتر مشاهده است؛ در صورتیکه این

موارد در ضخامت ورق جان تیر ۸ میلیمتر رویت نشده و تعویض پذیری اتصال مورد تایید بوده است. در نتیجه به منظور اطمینان از عملکرد صحیح اتصال و حفظ قابلیت تعویض پذیری آن می‌بایست نسبت پهنای جان تیر به ضخامت آن را به ۳۳٪ حداکثر حد تعیین شده توسط آیین نامه محدود نمود. در شکل ۱۱ تصاویری از کرنش پلاستیک معادل در مدل‌های P2 و P3 با ضخامت ورق جان ۶ میلیمتر نمایش داده شده است. در این تصاویر کمناش موضعی ورق جان تیر با فلش قرمز رنگ نشان داده شده است.

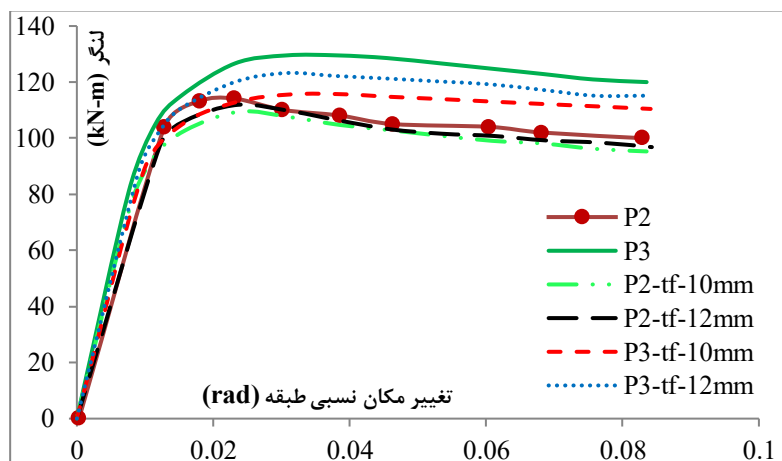
در ادامه نمودار پوش اتصال پیشنهادی با ضخامت ورق‌های بال و جان تیر متفاوت، برای دو مدل P2 و P3 از نمودارهای چرخه‌ای استخراج و به ترتیب در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نمایش داده شده است. سطح زیر نمودار چرخه‌ای، میزان جذب انرژی اتصال را نتیجه می‌دهد؛ که این مقادیر در جدول ۶ آورده شده است.

نتایج بدست آمده از نمودارهای پوش نشان داده است که نسبت جذب انرژی مدل P2-t_w-10mm به مدل P2 برابر با ۰/۹۶ بوده؛ این در حالی است که این نسبت برای مدل P3-t_w-10mm به مدل P3 برابر با ۰/۹۰ بوده است؛ که این امر نشان دهنده این است عدم رعایت حد تعیین شده در نسبت پهنای جان تیر به ضخامت بال در مدل P3 تاثیر بیشتری بر عملکرد اتصال داشته است. در نتیجه مطابق با نتایج بدست آمده در قسمت قبل اگر بنا شد در طراحی، بدلیل کمناش زود هنگام ورق‌های فیوز بال تیر قبل از رسیدن به ظرفیت خمشی فیوز، ظرفیت آن را ۱۴٪ بیشتر از میزان مورد نیاز در نظر گرفت، می‌بایست میزان ۲۰ درصدی اختلاف با حد تعیین شده برای نسبت پهنای بال تیر به ضخامت آن را با دقت بیشتری لحاظ نمود.

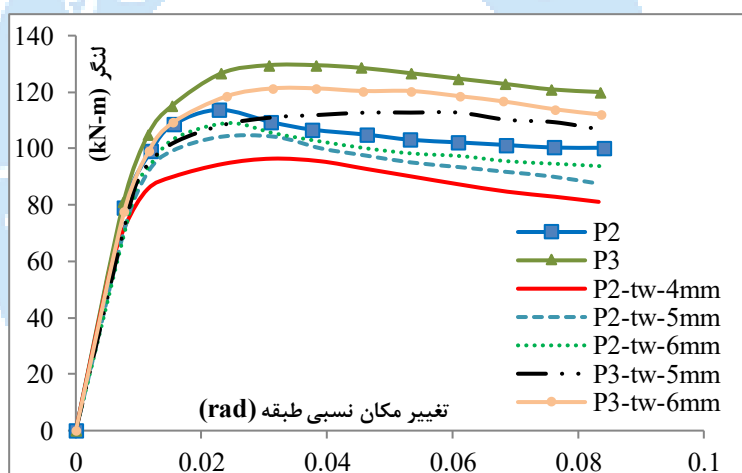
P2-t_w-6mmP3-t_w-6mm

شکل ۱۱: کرنش پلاستیک معادل مدل‌های P2 و P3 با ضخامت جان تیر ۶ میلی‌متر

(فلش قرمز رنگ، محل کمانش ورق موضعی جان را نشان می‌دهد)



شکل ۱۲: نمودار پوش مدل‌های P2 و P3 با ضخامت‌های بال تیر متفاوت



شکل ۱۳: نمودار پوش مدل‌های P2 و P3 با ضخامت‌های جان تیر متفاوت

۳-۶- تاثیر ورق پیوستگی ستون و مضاعف در عملکرد اتصال

۱-۳-۶- عدم تعبیه ورق‌های پیوستگی

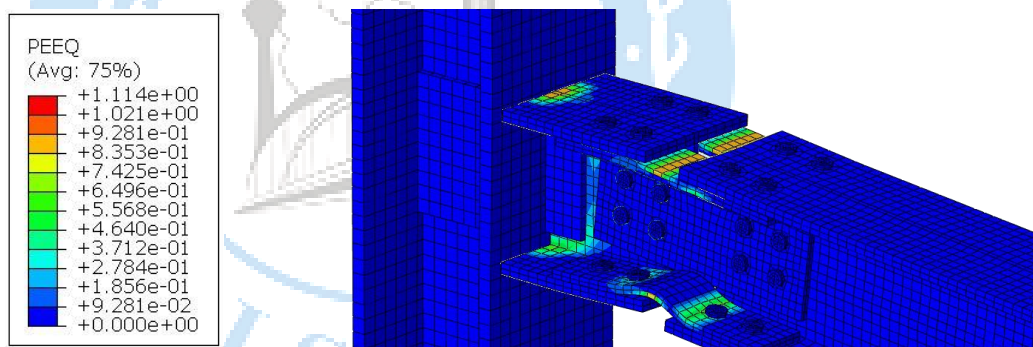
ورق پیوستگی برای انتقال نیروهای ناشی از لنگر تیر به ستون، جلوگیری از خمش بال ستون، چین خوردگی و لهیدگی جان ستون در مقابل بال‌های فوقانی و تحتانی تیر در ستون تعبیه می‌شوند. مطابق با استاندارد [۳۳] FEMA 350 برای کنترل نیاز یا عدم نیاز به ورق‌های پیوستگی در ستون‌های H شکل، ضخامت بال ستون می‌بایست بزرگتر از مقادیر تعیین شده در روابط (۶) و (۷) باشد. در غیر این صورت تعبیه یک جفت ورق پیوستگی در ستون الزامی است.

$$t_{cf} \geq 0.40 \sqrt{1.8 b_{bf} t_{bf} \frac{F_{yb} R_{yb}}{F_{yc} R_{yc}}} \quad (6)$$

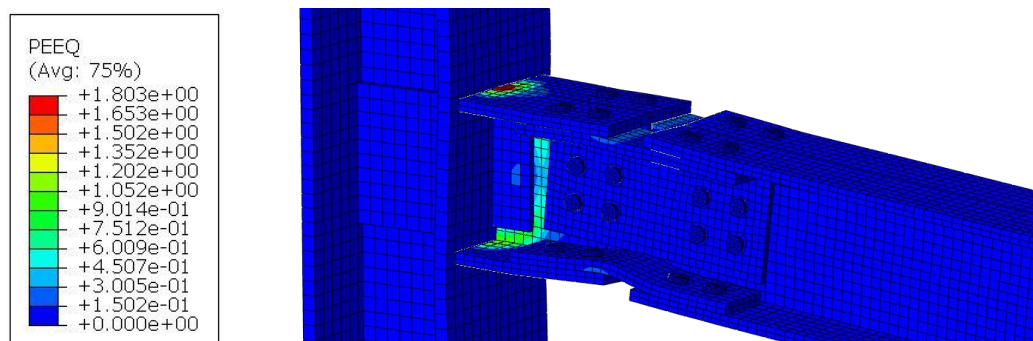
$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6} \quad (7)$$

با توجه به محاسبات انجام شده مطابق با روابط فوق استفاده از ورق‌های پیوستگی در مدل‌های P2 و P3 الزامی می‌باشد. در این بخش به بررسی عملکرد اتصال پیشنهادی بدون در نظر گرفتن ورق‌های پیوستگی پرداخته شده است. در شکل ۱۴ توزیع کرنش پلاستیک معادل برای دو مدل P2 و P3 بدون تعبیه ورق‌های پیوستگی نمایش داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۱۴ قابل مشاهده است در حالتی که ورق‌های پیوستگی درون ستون تعبیه نشده باشد، میزان کرنش پلاستیک معادل در محل اتصال تیر به ستون قابل توجه بوده و احتمال شکست اتصال بسیار بالا خواهد بود. این امر بدلیل آن است که میزان نیروهای کشش و فشاری منتقل شده از ورق‌های فیوز به بال‌های تیر، توسط بال ستون قابل تحمل نبوده و موجب کمانش موضعی بال ستون در محل اتصال شده است، که در نتیجه امکان شکست اتصال از بر ستون وجود خواهد داشت. همچنین عدم توجه به اجرای ورق‌های پیوستگی در مدل P3 موجب اعوجاج ورق‌های بال ستون شده و تاثیر بیشتری نسبت به مدل P2 بر عملکرد اتصال داشته است.



(P2)



(P3)

شکل ۱۴: توزیع کرنش پلاستیک معادل در مدل‌های P2 و P3 بدون در نظر گرفتن ورق‌های پیوستگی

۶-۳-۲- عدم تعبیه ورق‌های مضاعف جان ستون

اگر ظرفیت برشی چشمه اتصال جوابگوی نیروی برشی وارد به آن نباشد، برای تقویت چشمه اتصال یکی از گزینه‌های زیر باید انتخاب گردد:

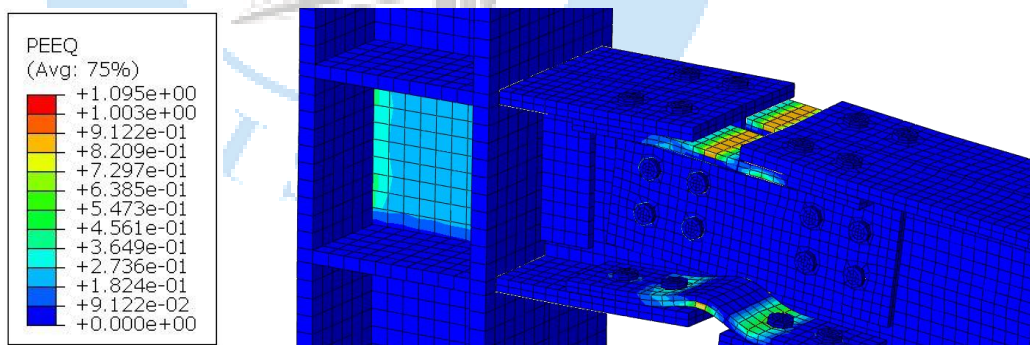
الف) افزایش ابعاد مقطع ستون

ب) استفاده از ورق مضاعف در چشمه اتصال

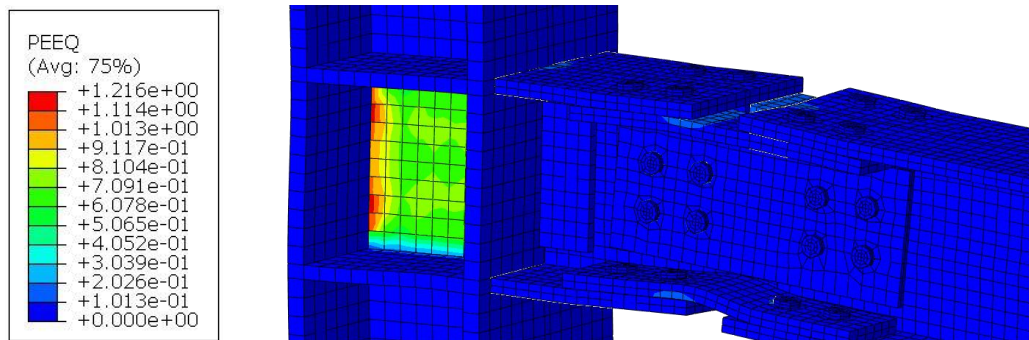
ج) استفاده از سخت کننده‌های قطری

در طراحی این اتصال با توجه به ظرفیت برشی چشمه اتصال از ۲ ورق مضاعف در جان ستون و به فاصله ۴ سانتیمتر از آن استفاده شده است. در شکل ۱۵ توزیع کرنش پلاستیک معادل برای دو مدل P2 و P3 بدون تعبیه ورق‌های مضاعف نمایش داده شده است.

همان طور که در شکل ۱۵ قابل مشاهده است، در مدل P2-WPZ (مدل P2 بدون ورق‌های مضاعف) ورق‌های فیوز بال تیر دچار اعوجاج شده و بیشترین کرنش پلاستیک معادل در آنها رخ داده است؛ اما بدلیل ضعیف بودن چشمه اتصال کرنش‌های پلاستیک در محل جان ستون نیز قابل مشاهده بوده که می‌تواند بر روی عملکرد اتصال و قابلیت تعویض پذیری آن تاثیر بسزایی داشته باشد. همچنین در مدل P3-WPZ (مدل P3 بدون ورق‌های مضاعف) عدم تعبیه ورق‌های مضاعف موجب گردیده که بال ستون دچار اعوجاج شده و بیشترین کرنش پلاستیک معادل در ناحیه چشمه اتصال رخ دهد. این امر بدلیل انتقال نیروهای کششی و فشاری منتقل شده از ورق فیوز به جان تیر و سپس به جان ستون بوده، که از لحاظ مقداری از میزان تحمل جان ستون فراتر بوده است.



P2-WPZ



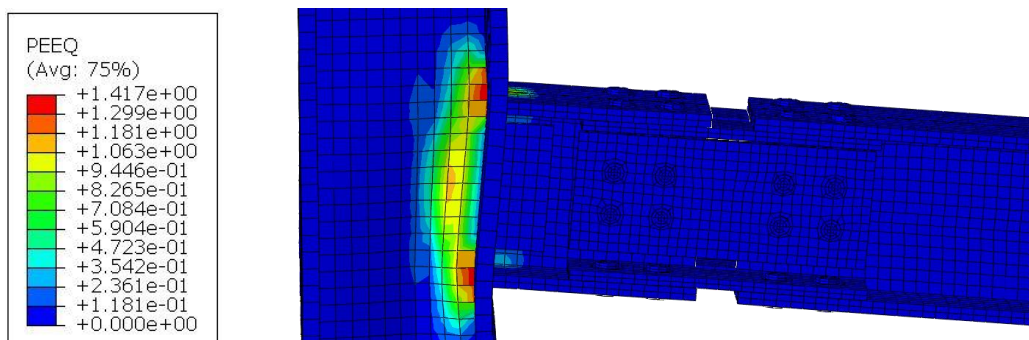
P3-WPZ

شکل ۱۵: توزیع کرنش پلاستیک معادل در نمونه‌های P2 و P3 بدون در نظر گرفتن ورق‌های مضاعف

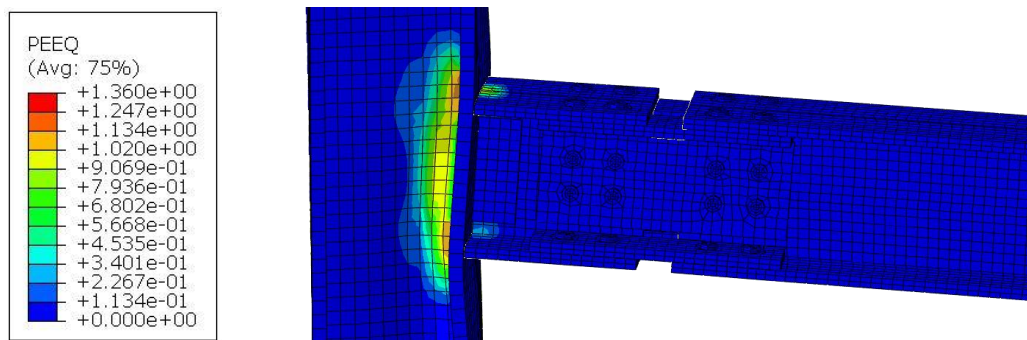
۶-۳-۳- عدم تعبیه هم‌زمان ورق‌های پیوستگی و مضاعف در ستون

در این قسمت به بررسی عدم استفاده هم‌زمان از ورق‌های پیوستگی و مضاعف ستون پرداخته شده و در شکل ۱۶ توزیع کرنش پلاستیک معادل برای دو مدل P2 و P3 (P2-C & W و P3-C & W) نمایش داده شده است. همان‌طور که در این شکل قابل مشاهده است، عدم استفاده از ورق‌های مذکور در ستون موجب گردیده که مفصل پلاستیک کاملاً در ستون ایجاد شده و بال‌ها و جان ستون دچار اعوجاج گردد. همچنین ورق‌های فیوز در حالت الاستیک باقی مانده و عملکرد اتصال از فرضیات در نظر گرفته در طراحی تبعیت نکرده است.

در ادامه منحنی‌های پوشش نمونه‌های مطرح شده در این بخش از منحنی‌های چرخه‌ای آنها استخراج گردیده و در شکل ۱۷ نمایش داده شده است. همچنین میزان جذب انرژی و ظرفیت باربری نمونه‌های مذکور در جدول ۷ آورده شده و تاثیر عدم وجود ورق‌های پیوستگی و یا ورق‌های مضاعف جان ستون نیز نسبت به مدل‌های مبنا (مدل‌های P2 و P3) به صورت درصد بیان گردیده است.

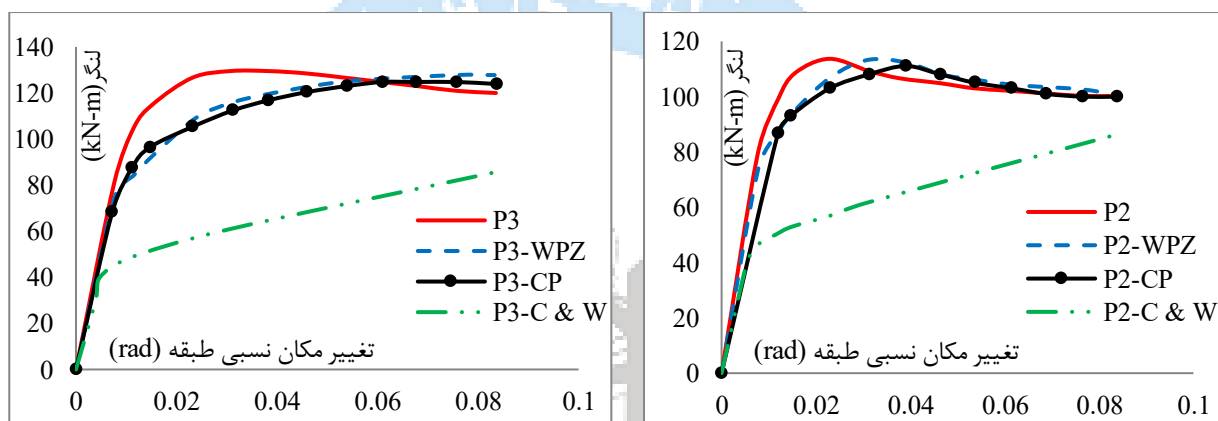


P2-C & W



P3-C & W

شکل ۱۶: توزیع کرنش پلاستیک معادل در مدل‌های P2 و P3 بدون در نظر گرفتن همزمان ورق‌های پیوستگی و مضاعف



شکل ۱۷: منحنی پوش مدل‌های P2 و P3 همراه و یا بدون ورق‌های پیوستگی و مضاعف

جدول ۷: میزان جذب انرژی و ظرفیت باربری مدل‌های P2 و P3 همراه و بدون ورق‌های مضاعف

مدل	ورق‌های پیوستگی	ورق‌های مضاعف	جذب انرژی (kN-m)	کاهش جذب انرژی نسبت به مدل مبنا (%)	ظرفیت خمشی (kN-m)	کاهش ظرفیت خمشی نسبت به مدل مبنا (%)

P2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	۸/۰۹۲	-	۱۱۳/۳۵۵	-
P2-CP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	۷/۹۵۴	۱/۷۰	۱۱۱/۸۷۹	۱/۳۰
P2-WPZ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	۸/۱۵۰	۰/۷۱	۱۱۳/۰۹۳	۰/۲۳
P2-C & W	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	۵/۴۴۵	۳۲/۷۱	۸۶/۶۴۸	۲۳/۵۶
P3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	۹/۶۳۲	-	۱۲۹/۵۲۴	-
P3-CP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	۹/۰۰۶	۶/۴۹	۱۲۶/۰۳۳	۲/۶۹
P3-WPZ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	۹/۰۸۸	۵/۶۴	۱۲۸/۷۶۴	۰/۵۸
P3-C & W	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	۵/۲۷۸	۴۵/۱۸	۸۵/۳۱۹	۳۴/۱۲

منظور از مدل‌های مبنا مدل‌های P2 و P3 است.

همان طور که در قسمت قبل نیز بیان گردید و همچنین نتایج بدست آمده از تحلیل عددی، که در جدول ۷ نمایش داده شده است، نشان می‌دهد با توجه به کماتش زود هنگام ورق‌های فیوز بال تیر قبل از رسیدن به حداکثر ظرفیت خمشی در نظر گرفته شده در طراحی و در نتیجه کاهش میزان جذب انرژی و ظرفیت باربری اتصال پیشنهادی، عدم تعبیه ورق‌های پیوستگی یا ورق‌های مضاعف جان ستون نتوانسته است تاثیر بسزایی بر روی نتایج عملکردی اتصال پیشنهادی (از لحاظ مقداری) داشته باشد. این در حالی است که نتایج توزیع کرنش پلاستیک معادل در اتصال پیشنهادی، وجود ورق‌های پیوستگی و مضاعف را الزام می‌دارد. عدم استفاده از ورق‌های پیوستگی در ناحیه چشمه اتصال در کاهش جذب انرژی سیستم در اتصالات از پیش تایید شده جوشی که در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان به آنها اشاره شده، تاثیر قابل توجهی داشته است [۳۹] که با توجه به نتایج بدست آمده این موضوع می‌تواند به عنوان مزیتی از اتصال پیشنهادی مطرح گردد. همچنین نتایج نشان داده است که عدم تعبیه همزمان ورق‌های پیوستگی و مضاعف در مدل P2 توانسته موجب کاهش جذب انرژی و ظرفیت باربری به ترتیب به میزان ۳۲/۷۱ و ۲۳/۵۶ درصد گردد. این مقادیر برای مدل P3 به ترتیب برابر با ۴۵/۱۸ و ۳۴/۱۲ درصد حاصل شده است؛ که نشان دهنده تاثیرگذاری بیشتر عدم تعبیه ورق‌های مذکور در مدل P3 نسبت به مدل P2 بوده است.

۷- نتیجه گیری:

در این مطالعه به بررسی عملکرد اتصالی با قابلیت تعویض پذیری تحت بارگذاری چرخه‌ای پرداخته شده است. همچنین تاثیر محدودیت‌های لرزه‌ای برای اتصالات گیردار در قاب‌های خمشی ویژه که توسط آیین نامه‌های بین المللی مطرح گردیده، بر روی رفتار عملکردی اتصال پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه به شرح زیر است:

۱- نتایج نشان داد که اتصال پیشنهادی پس از اعمال بارگذاری چرخه‌ای قابلیت تعویض پذیری داشته و مفصل پلاستیک در قسمت از پیش تعیین شده در طراحی تشکیل شده است. همچنین تیر و ستون پس از بارگذاری در حالت الاستیک باقی مانده‌اند.

۲- در اتصال پیشنهادی محل تشکیل مفصل پلاستیک و محل وصله تیر در یک نقطه در نظر گرفته شده است. از طرف دیگر با توجه به الاستیک ماندن ورق‌های فیوز جان تیر در طول فرایند بارگذاری، تشکیل مفصل پلاستیک در ورق‌های فیوز بال تیر و امکان گسیختگی آنها در تغییر مکان‌های زیاد، موجب فرو زيرش سازه نشده است.

۳- بدلیل کماتش زودهنگام ورق‌های فیوز بال تیر قبل از رسیدن به ظرفیت خمشی خود، نسبت حداکثر لنگر ایجاد شده در اتصال نسبت به حداکثر لنگر خمشی پلاستیک محتمل در محل تشکیل مفصل پلاستیک برابر با $0/86$ حاصل گردید. این نسبت برای حالاتی که ضوابط طرح لرزه‌ای برای اتصال در نظر گرفته نشده باشد با کاهش روبرو شده و برای ورق 15 و 20 میلی‌متر به ترتیب برابر $0/82$ و $0/73$ بدست آمده است. همچنین کماتش مذکور موجب فرو رفتگی یا پدیده پینچینگ در نمودارهای چرخه‌ای شده که از معایب اتصال پیشنهادی به حساب می‌آید.

۴- نتایج نشان داد که برای دستیابی به ظرفیت کامل خمشی، می‌توان ظرفیت خمشی فیوز را 14 درصد از مقدار مورد نیاز در طراحی بیشتر در نظر گرفت؛ که در این صورت می‌بایست ضوابط سخت گیرانه‌تری را در طراحی لحاظ نمود.

۵- در بررسی حداکثر نسبت پهنا به ضخامت بال و جان تیر، نتایج نشان داد که به منظور اطمینان از قابلیت تعمیر پذیری اتصال پیشنهادی، می‌بایست نسبت پهنا به ضخامت بال تیر حداقل به میزان 20% از حد تعیین شده توسط آیین نامه، کمتر در نظر گرفته شود. این مقدار در نسبت پهنا به ضخامت جان تیر 67% بدست آمده است.

۶- در بررسی تاثیر عدم وجود ورق‌های پیوستگی و یا مضاعف جان ستون، نتایج نشان داد که عدم تعبیه همزمان ورق‌های پیوستگی و مضاعف در مدل P2 توانسته موجب کاهش جذب انرژی و ظرفیت باربری به ترتیب به میزان $32/71$ و $23/56$ درصد گردد. این مقادیر برای مدل P3 به ترتیب برابر با $45/18$ و $34/12$ درصد حاصل شده است.

مراجع

- [1] AISC 358-16 (2016), *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.
- [2] Wilkinson, Sean, Hurdman, Gordon, Crowther, Adrian (2006). *A moment resisting connection for earthquake resistant structures*. J Constr Steel Res, 62(3), 295-302.
- [3] Mirghaderi, Seyed Rasoul, Torabian, Shahabeddin, Ali Imanpour (2010). *Seismic performance of the Accordion-Web RBS connection*. J Constr Steel Res, 66, 277-288.
- [4] Hedayat, Amir Ahmad, Saffari, Hamed, Hadi, Amid (2011). *Behaviour of steel reduced beam web (RBW) connections with drilled voids*, 5th SASTech, Khavaran Higher-education Institute, Mashhad, Iran.
- [5] Vetr, Mohammad Ghasem, Miri, M., Haddad, A. (2012). *Seismic Behavior of a New Reduced Beam Section Connection by Drilled Holes Arrangement (RBS_DHA) on the Beam Flanges through Experimental Studies*, 15WCEE.
- [6] Chen, Cheng-Chih, Lin, Chun-Chou (2013). *Seismic performance of steel beam-to-column moment connections with tapered beam flanges*. J Struct Eng, 48, 588-601.
- [7] Sofias, C.E., Kalfas, C.N., Pachoumis, D.T. (2014), *Experimental and FEM analysis of reduced beam section moment endplate connections under cyclic loading*. J Struct Eng, 59, 320-329.
- [8] Morrison, Machel, Schweizer, Tasnim Hassan, Doug (2015). *An innovative seismic performance enhancement technique for steel building moment resisting connections*. J Constr. Steel Res, 109, 34-46.
- [9] Tahamouli Roudsari, M, Jamshidi, K. H, Mohebi Zangeneh, M. (2016). *Experimental and numerical investigation of IPE reduced beam sections with diagonal web stiffeners*. J Earthq Eng, 22(4), 533-552.
- [10] Morshedi, Mohamad A, Dolatshahi, Kiarash M, Maleki, Shervin (2017). *Double reduced beam section connection*. J Constr Steel Res, 138, 283-297.

- [11] Roudsari Tahamouli, M, Jamshidi, H, Moradi, SH. (2018). *Experimental and numerical assessment of reduced IPE beam sections connections with box-stiffener*. Int J Steel Struct, 18(1), 255–263.
- [12] Shen, Y., Christopoulos, C., Mansour, N. and Tremblay, R. (2011), *Seismic Design and Performance of Steel Moment-Resisting Frames with Nonlinear Replaceable Links*, J. Struct. Eng., 137, 1107-1117.
- [13] He, H., Chen, K. and Li, R. (2015), *Seismic Performances of Replaceable Steel Connection with Low Yield Point Metal*. Advances in Materials Science and Engineering, 2015 , 1-11.
- [14] He, X., Chen, Y., Eatherton, R and Shao, T. (2018), *Experimental Evaluation of Replaceable Energy Dissipation Connection for Moment-Resisting Composite Steel Frames*. J. Struct. Eng., 144(6), 04018042 (1-14).
- [15] Soltanabadi, R., Behnamfar, F. (2018), *Experimental Studies on a Combined Damper for Repairable Steel Moment Connections*, International Journal of Steel Structures, 18(1), 211-224.
- [16] Garoosi, A. R., Tahamouliroudsari, M., Hosseini Hashemi, B. (2018). *Experimental evaluation of rigid connection with reduced section and replaceable fuse*, Structures, 16, 390–404.
- [17] Richard, P. (2019), *A Repairable Connection for Earthquake-Resisting Moment Frames*, The 14th Nordic Steel Construction Conference, Copenhagen, Denmark.
- [18] Kanyilmaz, A., Muhaxheri, M. and Castiglioni, C. A. (2019), *Influence of repairable bolted dissipative beam splices (structural fuses) on reducing the seismic vulnerability of steel-concrete composite frames*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 119, 281–298.
- [19] Wang, M., Dong, K. and Liu, M. (2020), *Damage control mechanism and seismic performance of a steel moment connection with replaceable low-yield-point steel double T-stub fuses*, Thin-Walled Structures, 157, 107143.
- [20] Wang, M., Zhang, Ch., Sun, Y. and Dong, K., (2022), *Seismic performance of steel frame with replaceable low yield point steel connection components and the effect of structural fuses*, J. Building Engineering, 47, 103862.
- [21] Zhang, H., Su, M., Lian, M., Cheng, Q., Guan, B. and Gong, H. (2020), *Experimental and numerical study on the seismic behavior of high-strength steel framed-tube structures with end-plate-connected replaceable shear links*, Engineering Structures, 223, 111172.
- [22] Lan, T., Li, R., Jiang, Z., Zhang, H. and Wang, H. W. (2020), *Experimental study of earthquake-resilient prefabricated opening-web steel channel beam-column joint with double FCs*, Journal of Constructional Steel Research, 175, 106356.
- [23] Ozkılıç, Y. (2020), *A new replaceable fuse for moment resisting frames: Replaceable bolted reduced beam section connections*, Steel and Composite Structure, 35, 353-370.
- [24] Ozkılıç, Y. and Topkaya, C. (2021), *Extended end-plate connections for replaceable shear links*. Engineering Structure, 240, 112385.
- [25] Lu, Y., Basha, S. H. and Liu, Y. (2022), *Performance of steel beams with replaceable buckling restrained fuses under cyclic loading*, J. construction Steel Research, 194, 107310.
- [26] Gowda, Ch., Kakade, A. and Swamy, R. (2022), *Influence of Section Properties of Replaceable Links on Energy Dissipation of Cantilever Steel Beam*, International Journal of Mechanical Engineering, 7(1), 5299-5305.
- [27] Hu, G., Haung, W. and Xie, H. (2020), *Mechanical behavior of a replaceable energy dissipation device for precast concrete beam-column connections*, J. Constructional Steel Research, 164, 105816.
- [28] Li, Y., Geng, F., Ding, Y. and Wang, L. (2020), *Experimental and numerical study of low-damage self-centering precast concrete frame connections with replaceable dampers*, Engineering Structure, 220, 111011.
- [29] Bai, J., He, J., Li, Ch., Jin, Sh., and Yang, H. (2022), *An RBS-based replaceable precast concrete beam-column joint: Design approach and experimental investigation*, J. Building Engineering, 51, 104212.
- [30] Sofias, CE, Kalfas, CN, Pachoumis, DT (2013), *Experimental & FEM Analysis of Reduced Beam Section Moment End Plate Connections Under Cyclic Loading*, J Eng. Structure, 320-329.
- [31] AISC (2002), *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction, Chicago.

- [32] Lee CH, Sang-Woo J, Jin-Ho K, Chia-Ming U. (2005). *Effects of panel zone strength and beam web connection method on seismic performance of reduced beam section steel moment connections*. J. Structural Engineering, 131, 1854–65.
- [33] FEMA (2000a), *Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings*, Report No. FEMA-350, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- [34] Mashaly Elsayed, El-Heweity Mohamed, Abou-Elfath Hamdy (2011). *Osman Mohamed. Behavior of four-bolt extended end-plate connection subjected to lateral loading*. Alex Eng J., 50(1), 79–90.
- [35] Montuori R. (2014). *The influence of gravity loads on the seismic design of RBS connections*. Open Constr Build Technol J, 8(1), 248–261.
- [36] Abdollahzadeh, Gholamreza, Hashemi, Seyed, Tavakoli, Hamidreza, Rahami, Hosein (2014), *Determination of hysteretic behavior of steel end-plate beam-to-column connection with mechanical and neural network modeling*. Arab J Sci Eng. 39(11), 7661–7671.
- [37] Grismo, EL, Clausen, AH, Langseth, M, Aalberg A. (2015). *An experimental study of static and dynamic behaviour of bolted end-plate joints of steel*. Int J Impact Eng., 85, 132–145.
- [38] Oh, K, Lee, K, Chen, L, Hong, SB, Yang, Y. (2015), *Seismic performance evaluation of weak axis column-tree moment connections with reduced beam section*. J Constr. Steel Res., 105, 28–38.
- [39] Kafi, M., Tarighi, P. (2017), *Evaluation of Using Triangular Plates as Continuity Plates in Box Column Section in Prequalified Welded Connections under Cyclic Loading*, J Steel and Constr. Eng., 3(4), 120-138.

