



رفتار چرخه‌ای اتصال تیر به ستون با میراگر میله‌های فولادی تسلیم شونده در برش

رضا مولوی^۱، محسن ایزدی نیا^{۲*}، علیرضا شهیدی^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد

۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد

۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

* نجف آباد، صندوق پستی ۸۵۱۴۱۴۳۱۳۱، izadinia@iaun.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۳۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۶)

چکیده

این مقاله رفتار لرزه‌ای نوع جدیدی از اتصال تیر به ستون دارای میراگرهای تسلیمی با الگوی قرارگیری دایره‌ای را مورد بررسی قرار می‌دهد. هدف اصلی سیستم پیشنهادی استفاده از میراگرهای تسلیمی در فضایی به اندازه ارتفاع خود تیر به جهت اشغال فضای بسیار کمتر و عدم کاهش ارتفاع مفید طبقه، در اتصال تیر به ستون می‌باشد به گونه‌ای که تغییرشکل‌های غیرارتجاعی ناشی از بارگذاری چرخه‌ای در میراگرهای بکار رفته محدود شود. در این پژوهش سه نمونه آزمایشگاهی ساخته شد و تحت بارگذاری چرخه‌ای تا دوران ۵ درصد قرار گرفتند. به منظور ارزیابی تحلیلی‌ها و تکنیک‌های مدل سازی عددی در پیش‌بینی رفتار چرخه‌ای اتصالات پیشنهادی مدل‌های اجزاء محدود نمونه‌های آزمایشگاهی ساخته شد و متناظر با الگوی بارگذاری استفاده شده در آزمایشگاه مورد تحلیل قرار گرفتند. مطابق نتایج تحلیل‌های عددی و آزمایشگاهی در تمام اتصالات پیشنهادی تغییرشکل‌های غیرارتجاعی در میراگرها متمرکز بوده و اعضای اصلی نظیر تیر و ستون در محدوده ارتجاعی باقی ماندند، همچنین با طرح مناسب برای میراگر در اتصال پیشنهادی دستیابی به مقاومتی فراتر از لنگر پلاستیک تیر برای اتصال امکان پذیر می‌باشد.

واژگان کلیدی

اتصال تیر به ستون، میله فولادی تسلیم شونده، رفتار چرخه‌ای

Cyclic Behavior of Beam-to-Column Connection with Yielding Steel Rods Damper in shear

R. Molavi, M. Izadinia, A. Shahidi

Abstract

The present study tries to examine the seismic behavior of a new type of beam-column connection having yielding damper with circular placement pattern. The main purpose of the proposed system is to use yielding dampers in a space as high as the beam depth in order to occupy much lesser space, and not to reduce the useful height of the story in the beam-column connection, so that the inelastic deformations from cyclic loading is restricted to the dampers. Three samples were made in the laboratory and were loaded up to 0.05 radian rotation under the cyclic loading. In order to evaluate the numerical modeling techniques and analyses in predicting the cyclic behavior of the proposed connections, finite element models of laboratory samples were made and were analyzed based on corresponding loading pattern. Based on the numerical and experimental results, inelastic deformations were concentrated in the dampers for all proposed connections and the beam and the column remained within the elastic range. It is also possible to achieve a higher resistance that of the plastic moment of the beam in the proposed connection with a suitable design.

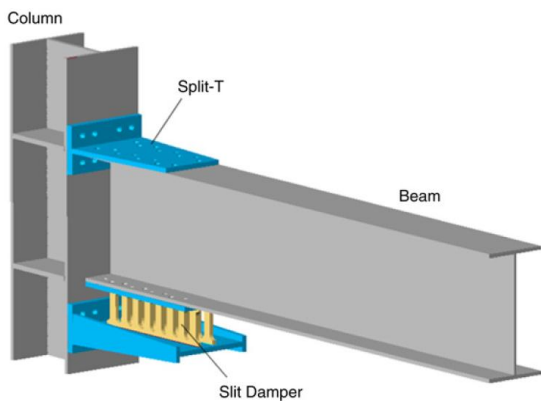
Keywords

Beam-to-column connection, Yielding steel rod damper, Cyclic behavior

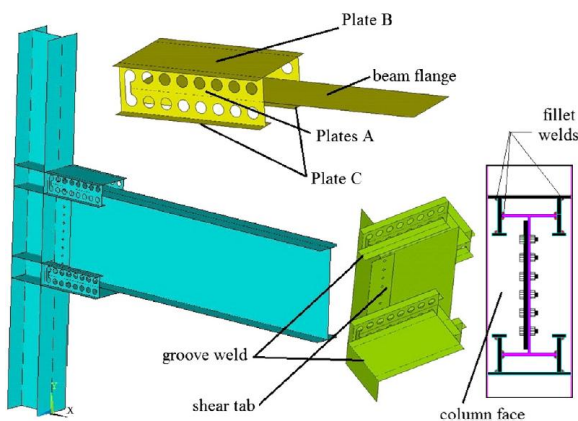


اعضای سازه ای کاهش یافته و در نتیجه تغییر شکل زیادی در آنها ایجاد نمی‌شود.

با توجه به ظرفیت جذب بالای انرژی در این نوع میراگرها استفاده از آنها روز به روز در حال گسترش می‌باشد. بکارگیری این نوع میراگرها در گره اتصال اولین بار توسط Oh و همکارانش با ساختاری مطابق شکل (۱) ارایه گردید. در تحقیق ایشان سه نمونه تمام مقیاس هرکدام دارای دو میراگر شکاف‌دار همراه با یک نمونه اتصال جوشی قبل از نورتریج مورد آزمایش و مقایسه قرار گرفتند [۱۳]. در ادامه Saffari و همکارانش اتصال تیر به ستون همراه با میراگرهای شکاف‌دار جوشی با ساختاری مطابق شکل (۲) را معرفی و رفتار چرخه‌ای آن را با مطالعه پارامتریک و تحلیل اجزاء محدود مورد بررسی قرار دادند [۱۴].



شکل ۱- اتصال پیشنهادی Oh و همکارانش [۱۳]



شکل ۲- اتصال پیشنهادی Saffari و همکارانش [۱۴]

Koken و همکارانش بر پایه اتصال پیشنهادی Oh، اتصال تیر به ستون فولادی مجهز به یک میراگر شکاف‌دار را مورد بررسی آزمایشگاهی و اجزاء محدود قرار دادند [۱۵].

در طول زلزله نورتریج (۱۹۹۴) و کوبه (۱۹۹۵) تعداد زیادی از ساختمان‌های فولادی با اتصالات رایج آن زمان متحمل خرابی شدند، بررسی سازه‌های آسیب دیده به وضوح عملکرد ضعیف این سازه‌ها را از نظر شکل‌پذیری و اتلاف انرژی نشان داد و موارد مختلفی از شکست ترد در اتصال خمشی تیر به ستون به علت ظرفیت کم چرخش پلاستیک تیر مشاهده شد. به دنبال این خرابی‌ها و آسیب‌های گسترده تحقیق در خصوص ارایه راهکارها جهت افزایش شکل‌پذیری اتصالات خمشی مورد توجه قرار گرفت. رویکرد غالب این روش‌ها، طراحی اتصال به گونه‌ای است که خرابی با پلاستیک شدن تیر در فاصله‌ای مناسب از بر ستون و یا در عناصر اضافی شکل‌پذیر نظیر میراگرها صورت گیرد به طوریکه ضمن ایجاد دوران کافی، سختی و مقاومت اتصال را نیز در محدوده مناسبی حفظ نماید.

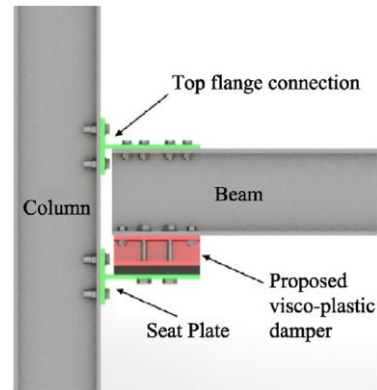
راه‌کارهایی که طی مطالعات گذشته ایجاد مفصل پلاستیک را در تیر موجب می‌شود بر پایه کاهش تعمدهی مقطع تیر^۱ به صورت موضعی در فاصله اندکی از اتصال آن به ستون می‌باشد که عمدتاً از طریق برش یک بخش از بال تیر [۱]، برش در جان تیر [۲]، برش بخشی از بال تیر به همراه جدا کردن جان از بال در آن بخش [۳]، ایجاد سوراخ در بال‌های تیر [۴]، ایجاد سوراخ در بال و جدا کردن بال تیر از جان [۵]، جایگزین کردن جان صاف تیر در ناحیه‌ای نزدیک ستون با جان چین‌دار [۶]، با جان دایره‌ای [۷]، کاهش تنش تسلیم فولاد تیر به صورت موضعی در نزدیکی اتصال آن به ستون توسط حرارت [۸]، صورت می‌گیرد.

روش دیگر در راستای ایجاد مفصل پلاستیک در تیر، تقویت اتصال با افزایش موضعی بال تیر [۹]، مسلح کردن گره اتصال توسط افزودن اجزایی نظیر انواع سخت کننده‌ها [۱۰-۱۲]، با هدف ایجاد اتصالی قوی‌تر از تیر می‌باشد.

اصولاً استفاده از روش‌ها و ایده‌هایی که مبتنی بر تقویت ناحیه اتصال یا ضعیف کردن تیر نسبت به ستون می‌باشند اگرچه عملکرد مناسبی در کنترل خرابی و پایداری نسبی سازه دارند ولیکن خسارات وارد شده در هنگام زلزله معطوف به تیر به عنوان عضو اصلی سازه می‌باشد.

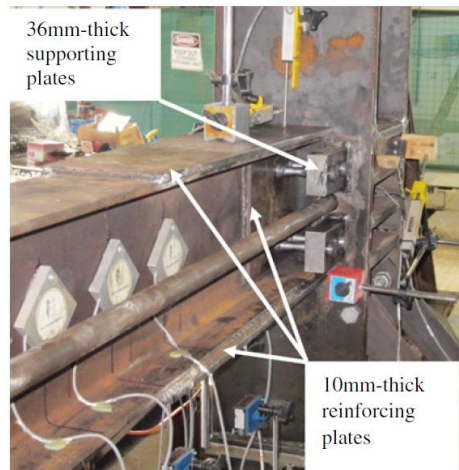
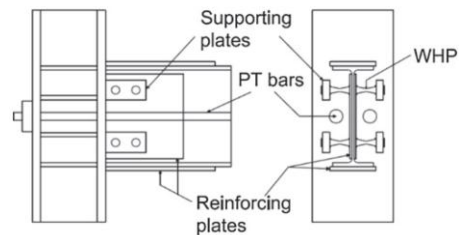
یکی از ایده‌هایی که جهت کاهش آسیب و تغییر شکل در اعضای سازه‌ای در برابر بارگذاری زلزله پیشنهاد شده، استفاده از میراگرهای تسلیمی در گره اتصال می‌باشد به گونه‌ای که با جذب انرژی در این وسایل، انرژی دریافتی در سایر

Baniseikhholeslami و همکارانش جهت کنترل خسارت زلزله ترکیبی از میراگر الاستیک و تسلیمی را در اتصال تیر به ستون مطابق مطابق شکل (۳) پیشنهاد دادند [۱۶].



شکل ۳- اتصال پیشنهادی Baniseikhholeslami و همکارانش [۱۶]

Vasdravellis و همکارانش رفتار چرخه‌ای اتصال پیش‌تینده تیر به ستون فولادی، مجهز به میراگرهای تسلیمی جانمایی شده در جان تیر، با جزئیات شکل (۴) را به صورت آزمایشگاهی و مدل سازی عددی مورد بررسی قرار دادند [۱۷].



شکل ۴- اتصال پیشنهادی Vasdravellis و همکارانش [۱۷]

همانطورکه اشاره شد در یک دهه اخیر تحقیقات زیادی

در خصوص استفاده از میراگر تسلیمی در گره اتصال صورت گرفته است که رویکرد غالب این تحقیقات استفاده از فضای تحتانی مقطع تیر جهت نصب میراگر تسلیمی در اتصال تیر به ستون می‌باشد. در این مقاله هدف استفاده از طرح دیگری از نحوه قرار گیری میراگرهای تسلیمی در اتصال تیر به ستون می‌باشد تا با اجرای آن در فضایی به اندازه ارتفاع خود تیر به جهت اشغال فضای بسیار کمتر و عدم کاهش ارتفاع مفید طبقه، کارایی لازم را جهت تامین شکل‌پذیری و مقاومت لازم داشته باشد.

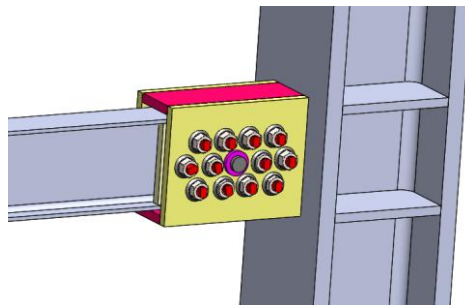
بر پایه این ایده دو طرح اتصال تیر به ستون پیشنهاد شد و به منظور بررسی رفتار چرخه‌ای اتصالات مذکور سه نمونه طراحی و تحت بارگذاری چرخه‌ای در آزمایشگاه قرار گرفتند. علاوه بر مطالعات آزمایشگاهی رفتار چرخه‌ای این اتصالات به صورت تحلیل عددی توسط نرم افزار Abaqus بررسی گردید.

۲- معرفی اتصالات تیر به ستون پیشنهادی

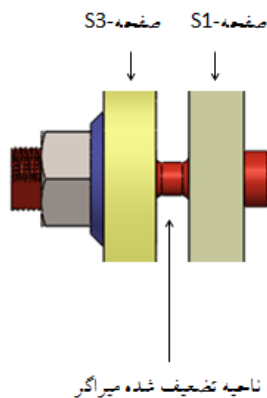
شکل (۵) و (۶) به ترتیب، تصویری سه بعدی از طرح کلی و جزئیات مدل پیشنهادی اول، با کد (CPYD1) و شکل (۷) و (۸) نیز به ترتیب، تصویری سه بعدی از طرح کلی و جزئیات مدل پیشنهادی دوم، با کد (CPYD2) را نشان می‌دهند.

در مدل‌های (CPYD1) و (CPYD2) به ترتیب از ۲۴ و ۱۲ میراگر قابل تعویض مطابق شکل (۹) استفاده می‌گردد که بخشی از آن به جهت ضعیف‌سازی مقطع و تأمین پتانسیل تغییر شکل غیرارتجاعی دارای قطر کوچکتری نسبت به سایر بخش‌ها می‌باشد. این میراگرها به صورت متقارن مرکزی نسبت به شفت اتصال در دو طرف تیر توزیع شده‌اند.

شکل (۱۰) موقعیت قرارگیری بخش‌های مختلف میراگر را در اتصال پیشنهادی نشان می‌دهد.

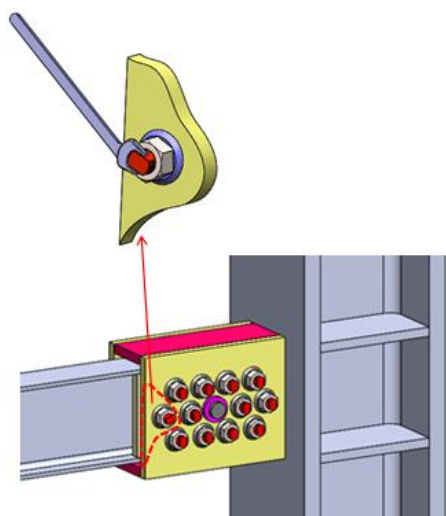


شکل ۵- اتصال پیشنهادی (CPYD1)



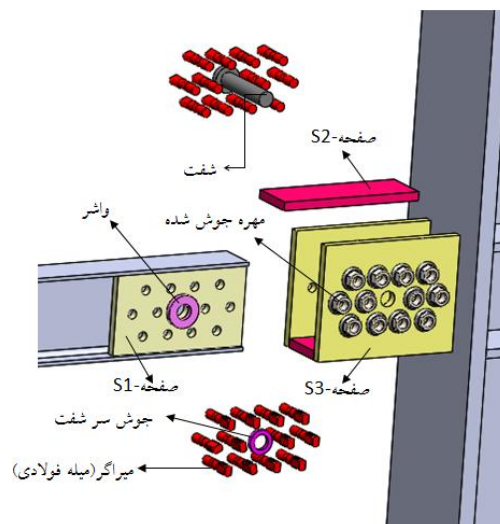
شکل ۱۰- میراگر مورد استفاده در اتصالات پیشنهادی ناحیه تضعیف شده میراگر

با توجه به شکل (۹)، میراگر فقط در ناحیه اتصال به مهره دارای رزوه می‌باشد و در نواحی قرارگیری در سوراخ‌های صفحات (S1) و (S3) به صورت آزاد و بدون رزوه می‌باشد، استفاده از چنین طرحی عملیات تعویض میراگر را پس از زلزله سهل و به آن سرعت می‌بخشد. همچنین ساختار دو وجه ناحیه رزوه شده میراگر به صورت تخت طراحی شده تا امکان درگیر شدن آچار جهت بستن میراگرها داخل مهره و عندالزوم باز کردن آنها از داخل مهره توسط آچار امکان‌پذیر باشد (شکل (۱۱)).

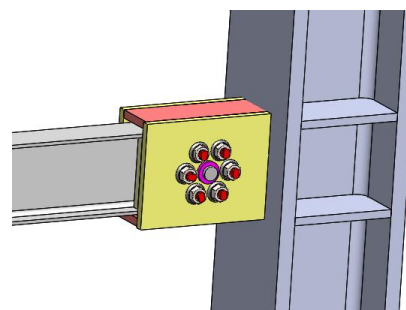


شکل ۱۱- محل قرار گیری آچار جهت باز و بستن میراگر

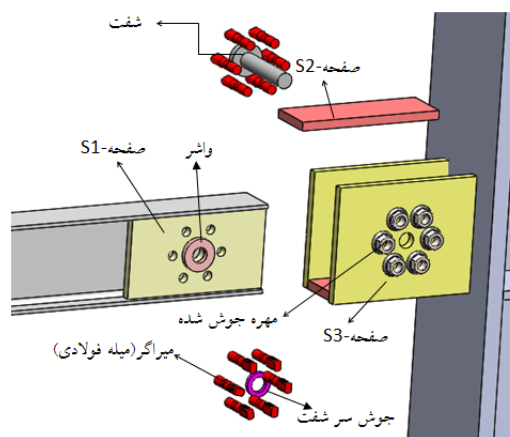
با توجه به اینکه ساختار کلی اتصالات پیشنهادی (CPYD1) و (CPYD2) کاملاً یکسان می‌باشند لذا در ادامه جهت شرح مبسوط جزئیات، عموماً از تصاویر مدل (CPYD1) استفاده می‌شود.



شکل ۶- جزئیات اتصال پیشنهادی (CPYD1)



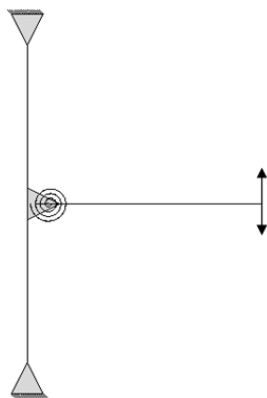
شکل ۷- اتصال پیشنهادی (CPYD2)



شکل ۸- جزئیات اتصال پیشنهادی (CPYD2)



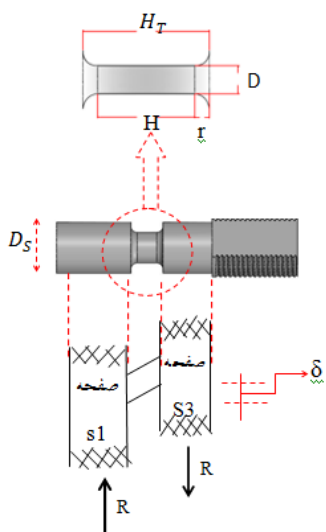
شکل ۹- میراگر مورد استفاده در اتصالات پیشنهادی



شکل ۱۴- مکانیسم کلی اتصالات پیشنهاد شده

۳- طراحی اتصالات تیر به ستون پیشنهادی

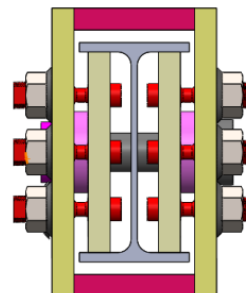
شکل (۱۵) هندسه میراگر و تغییرشکل فرضی آن را نشان می‌دهد، با توجه به این شکل در صورتی که جابجایی اعمال شده به میراگر (δ)، به واسطه بارگذاری و دوران تیر حول شفت، به میزان مناسبی بزرگ باشد لنگر خمشی در دو انتهای ناحیه تضعیف شده موجب تسلیم کلیه تارها در مقطع عرضی آن بخش می‌شود.



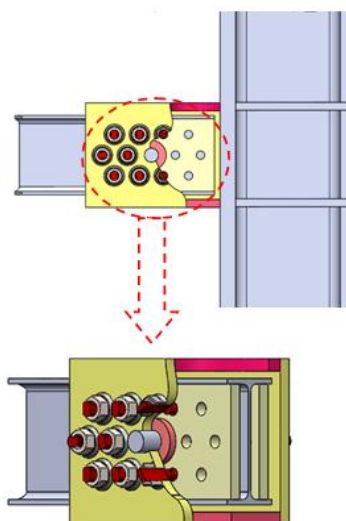
شکل ۱۵- هندسه میراگر و تغییرشکل فرضی آن

به منظور ارزیابی نیروی تسلیم و نهایی میراگر به جهت اینکه برای جلوگیری از تمرکز تنش در دو انتهای قسمت تضعیف شده میراگر، این نواحی به صورت غیرمنتشوری و با تغییرات منحنی شکل ساخته می‌شود، با توجه به شکل (۱۶) قسمت منحنی شکل با یک قسمت خطی معادل‌سازی می‌شود. براساس

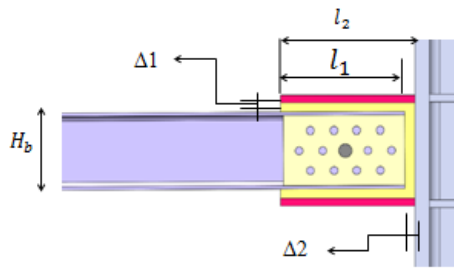
نظر به اینکه در هر دو مدل پیشنهادی هدف تمرکز تغییر شکل‌های غیرارتجاعی در میراگرها، طی دوران تیر حول شفت می‌باشد، لذا مطابق شکل (۱۲) و (۱۳) ضمن استفاده از واشر به جهت جلوگیری از جابجایی جانبی تیر روی شفت، یک فاصله آزاد بین بال‌های تیر و صفحات (S2) و همچنین بین مقطع عرضی تیر و سطح ستون، به منظور ایجاد فضای کافی برای دوران آزاد و بدون مانع تیر حول شفت تا دوران 0.06 محاسبه و در نظر گرفته شده، تا عضو مقاوم در برابر دوران تیر محدود به میراگرها باشد و با اعمال بار چرخه‌ای به انتهای آزاد تیر و دوران آن حول شفت، میراگرهای تسلیمی متصل به صفحات (S1) تحت لنگر قرار گرفته و متناسب با میزان تغییر شکل، جذب انرژی در ناحیه تضعیف شده میراگر صورت خواهد گرفت و نیروی میراگر توسط صفحات (S2) و (S3) به ستون منتقل می‌شود، این مکانیسم کلی برای اتصالات پیشنهادی مطابق شکل (۱۴) می‌باشد.



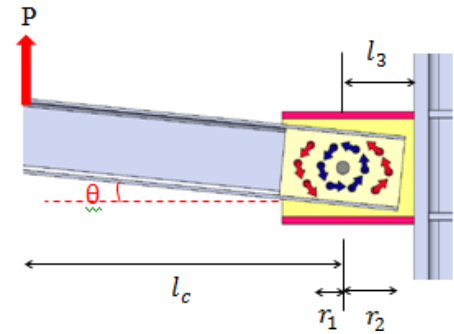
شکل ۱۲- مقطع عرضی اتصال



شکل ۱۳- مقطع برش خورده اتصال (CPYD1)

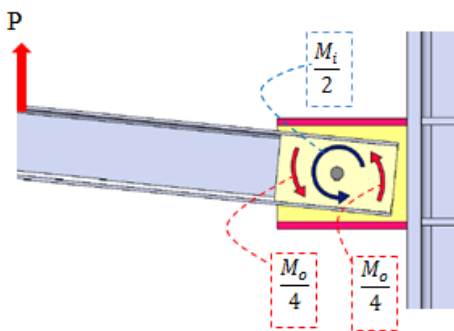


(الف)

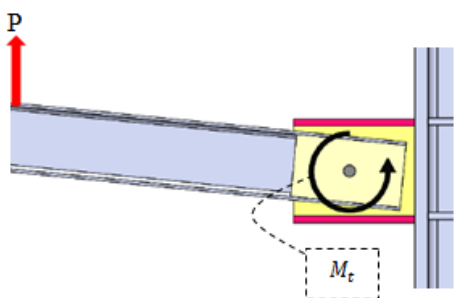


(ب)

شکل ۱۷- (الف) فضای آزاد پیرامون تیر در گره اتصال (ب) بردار نیرو در گره اتصال



(الف)



(ب)

شکل ۱۸- (الف) برابند لنگر انتقالی از میراگرها در یک سمت تیر (ب) لنگر کل در گره اتصال

به طور خلاصه

- در اتصال (CPYD1) با توجه به تفاوت فاصله میراگرها از شفت و در نتیجه متغیر بودن کرنش‌های ایجاد شده در

روابط ارایه شده توسط Oh، طول معادل‌سازی شده ناحیه شکل پذیر میراگر (H') از رابطه (۱) بدست می‌آید:

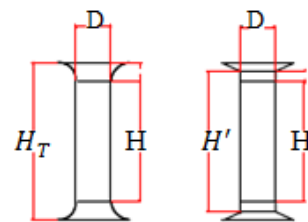
$$H' = H + 2 \frac{r^2}{H_T} \quad (1)$$

براین اساس در صورتی که تنش تسلیم و نهایی فولاد میراگر به ترتیب f_y و f_u باشد، نیروی لازم جهت تسلیم میراگر (R_y) را می‌توان توسط رابطه (۲) محاسبه کرد:

$$R_y = \frac{D^3 f_y}{3H'} \quad (2)$$

و به طور مشابه نیروی نهایی (R_u) قابل تحمل توسط میراگر از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$R_u = \frac{D^3 f_u}{3H'} \quad (3)$$



شکل ۱۶- ایده آل سازی هندسه میراگر

با توجه به شکل (۱۷) و جزئیات ارایه شده در قسمت‌های قبل، فواصل $\Delta 1$ و $\Delta 2$ جهت تامین فضای کافی جهت چرخش آزاد تیر حول شفت تا دوران $0/06$ ، براساس روابط زیر تعیین می‌گردند:

$$\Delta 1 = 0.03l_1 \quad (4)$$

$$\Delta 2 = 0.03H_b \quad (5)$$

با توجه شکل (۱۸)، اگر M_i و M_o به ترتیب برابند لنگرهای انتقالی از میراگرهایی باشد که در شعاع r_1 و r_2 نسبت به شفت در گره اتصال توزیع شده باشند، با توجه به جانمایی متقارن میراگرها در طرفین تیر، برابند کل لنگر در گره اتصال از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$M_t = M_i + M_o \quad (6)$$

در صورتیکه نیروی وارد به ابتدای تیر، P و فاصله محل اعمال آن تا مرکز شفت l_c باشد:

$$P \cdot l_c = M_t \rightarrow P = \frac{M_t}{l_c} \quad (7)$$

و لنگر در بر ستون (M_c) از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$M_c = P \cdot (l_3 + l_c) \quad (8)$$

نیمرخ IPE200 ساخته شدند و ستون به ارتفاع ۳ m به صورت تیرورق I شکل با ضخامت ۲۰mm برای بال و جان و ورق‌های سخت کننده در نظر گرفته شد. تمام میراگرها و همچنین شفت و واشرها (شکل (۲۰)) با دستگاه CNC سه بعدی تولید شدند به گونه‌ای که لقی میراگر و شفت نسبت به سوراخ‌های محل قرارگیری به ترتیب، ۰/۲ mm و ۰/۱ mm در نظر گرفته شد.



شکل ۲۰- قطعات شفت و واشر

پس از آماده‌سازی قطعات متشکله اتصال، ابتدا محل عبور شفت در جان تیر سوراخ می‌شود سپس واشرها به صفحات (S1) متصل و قطعه حاصل به طرفین تیر جوش می‌گردد (شکل (۲۱)).



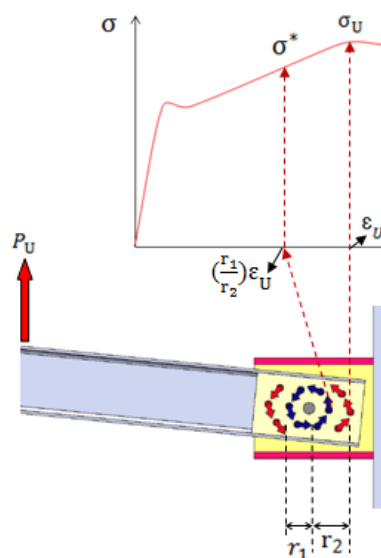
شکل ۲۱- اتصال واشر و صفحه (S1) به تیر

در ادامه براساس شکل (۶) پس از اتصال صفحات (S2) و (S3) جعبه اتصال تولید می‌گردد، مهره‌ها به روی سوراخ‌های صفحات (S3) جوش شده و پس از قرارگیری تیر در داخل جعبه اتصال و نصب شفت و جوشکاری ابتدای آن، هر میراگر از سمت بیرون جعبه اتصال وارد مهره شده و پس از عبور از صفحات (S1) و (S3) توسط آچار محکم می‌شود (شکل (۲۲)).

شکل (۲۳) تصویر نزدیک‌تری از عبور میراگر از داخل مهره و محکم کردن آن توسط آچار را نشان می‌دهد. در شکل (۲۴) مقطع عرضی گره اتصال مشاهده می‌شود. سپس مطابق شکل (۲۵) نمونه به ستون متصل گردید.

میراگرهای واقع در فواصل مختلف قرارگیری نسبت به محور دوران، ابتدا میراگرهایی که در فاصله (r_2) از شفت قرار دارند پلاستیک می‌شوند و به حد نهایی می‌رسند، با توجه به شکل (۱۹) و فرض صلب بودن صفحات S3 و S1، براساس تخمین کرنش میراگرهای واقع در فاصله (r_1) از شفت، تنش آنها (σ^*) از روی نمودار تنش-کرنش فولاد قرائت و نیروی نهایی این اتصال (P_u) از رابطه (۹) برآورد می‌شود:

$$P_u = \frac{4D^3}{H'l_c} [f_u \cdot r_2 + \sigma^* \cdot r_1] \quad (9)$$



شکل ۱۹- تخمین کرنش و تنش میراگرهای در فاصله r_1 از شفت

در نمونه (CPYD2) به جهت وجود ۱۲ عدد میراگر به فاصله r_1 فرض بر این است که تمام میراگرها همزمان پلاستیک می‌شوند، لذا نیروی نهایی اتصال (P_u) از رابطه (۱۰) حاصل می‌شود:

$$P_u = \frac{3.8 f_u D^3}{H'l_c} \cdot r_1 \quad (10)$$

به جهت سهولت بازکردن و تعویض میراگرها در مواقع لازم ورق‌های تکیه‌گامی میراگر (صفحات (S1) و (S3)) می‌بایست دارای ضخامت کافی باشند به طوری که تا بار نهایی، هیچ گونه تغییر شکل پلاستیک در سوراخ‌های قرارگیری میراگرها رخ ندهد.

۴- نمونه‌های آزمایشگاهی

برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصالات پیشنهادی، سه نمونه آزمایشگاهی طراحی و ساخته شدند. در هر سه نمونه، تیرها از

به جهت سهولت در بررسی و رویت هرگونه لغزش بین میراگر و مهره جوش شده، این ناحیه قبل از بارگذاری به صورت موضعی رنگ آمیزی شد (شکل (۲۶)).



شکل ۲۶- رنگ آمیزی مهره و ابتدای ناحیه رزوه شده میراگر

خواص مکانیکی فولاد تیر و میراگر و قطعات متشکله تیرورق ستون بر اساس آزمایش کشش طبق استاندارد ASTM استخراج و در جدول (۱) نمایش داده شده است.

جدول ۱- محاسبه ضریب بازتاب مدلها

نمونه	σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	کرنش نهایی (%)
جان تیر	۳۴۴	۴۶۲	۰/۲۶
بال تیر	۲۹۴	۴۲۴	۰/۲۵۱
ستون	۳۱۲	۵۰۶	۰/۲۳۵
میراگر	۳۰۳	۴۷۰	۰/۲۷۸
ورق‌های S1، S2 و S3	۳۷۳	۵۲۸	۰/۲۸

تعریف هندسه کلی مدلها بر اساس شکل (۱۷) می‌باشد، در تمام نمونه‌های آزمایشگاهی فاصله محل بارگذاری تا مرکز شفت (l_3)، $1/1$ m و فاصله مرکز شفت تا سطح ستون (l_2)، $0/172$ m و مقدار l_1 ، $0/33$ m، طول ناحیه رزوه شده میراگر $0/35$ m، قطر میله میراگر (D_s) برابر $0/19$ m، ضخامت صفحات ($S1$)، ($S2$) و ($S3$)، $0/02$ m، و سایز مهره اتصال میراگر، M24 در نظر گرفته شد. سایر مشخصات و جزئیات هندسی نمونه‌ها در جدول (۲) نمایش داده شده است.

۵- پیکربندی و بارگذاری آزمایش

پس از استقرار و نصب هر یک از نمونه‌ها در محل آزمایش، به منظور اندازه‌گیری تغییر مکان در سه نقطه از مجموعه تیر و ستون، در محل‌های تعیین شده روی نمونه، LVDT نصب گردید.



شکل ۲۲- بستن میراگر در گره اتصال نمونه آزمایشگاهی (CPYD1)



شکل ۲۳- محکم کردن میراگر در مهره توسط آچار



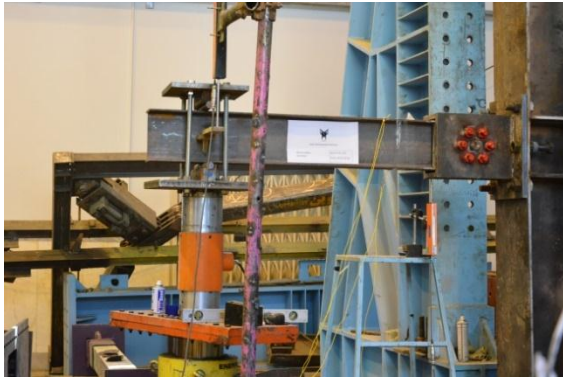
شکل ۲۴- مقطع عرضی اتصال



شکل ۲۵- اتصال نمونه آزمایشگاهی (CPYD1) به ستون

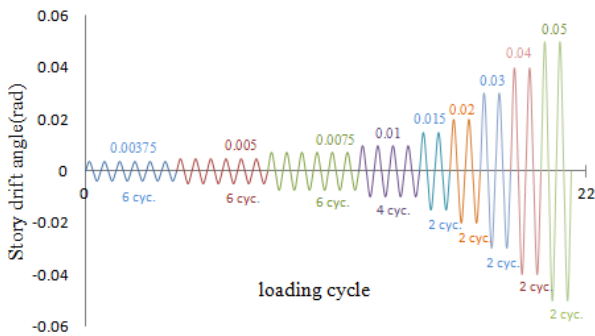
جدول ۲- جزئیات هندسی نمونه‌های آزمایشگاهی

هندسه میراگر		r_2 (m)	r_1 (m)	نمونه آزمایشگاهی
H_T (m)	D (m)			
۰/۰۱۴	۰/۰۱۲۸	۰/۱۲	۰/۰۶	CPYD1-A
۰/۰۱۴	۰/۰۱۱۸	۰/۱۲	۰/۰۶	CPYD1-B
۰/۰۱۴	۰/۰۱۲۶	---	۰/۰۶	CPYD2

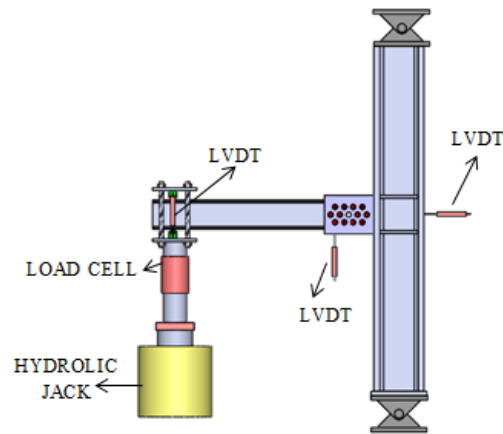


شکل ۲۹- نمایی از مدل آزمایشگاهی (CPYD1-A)

شکل (۲۷) تصویری از طرح کلی پیکربندی آزمایش برای تمام نمونه‌های آزمایش شده به همراه تجهیزات انجام آزمایش را نشان می‌دهد.



شکل ۳۰- نمودار بارگذاری اعمال شده [۱۸]



شکل ۲۷- پیکربندی انجام آزمایش

۶- نتایج انجام آزمایش

در شکل (۳۱)، (۳۲) و (۳۳) به ترتیب منحنی لنگر-دوران نمونه‌های (CPYD1-A)، (CPYD1-B) و (CPYD2) مستخرج از نتایج آزمایشات انجام شده، نمایش داده شده است. با دقت در نمودارهای مذکور مقداری همپوشانی در مسیرهای رفت و برگشتی وجود دارد که علت اصلی این رفتار وجود لقی بین میراگرها و سوراخ‌های متناظر در صفحات تکیه‌گاهی (S1) و همچنین لقی بین شفت و سوراخ محل قرارگیری آن می‌باشد، این رفتار در اکثر اتصالات پیچی مشاهده می‌شود ولیکن وضعیت کلی نمودارها بیانگر رفتار چرخه‌ای پایدار برای تمامی نمونه‌های مورد بررسی می‌باشد.

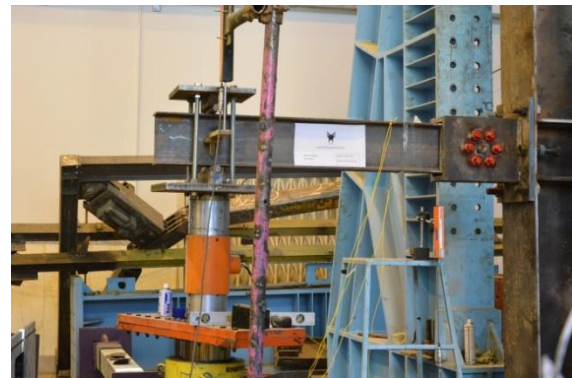
در هیچ کدام از نمونه‌ها هیچگونه لغزش و حرکتی در ناحیه رزوه شده و همچنین شکست و ترک خوردگی در جوش‌های بکار برده شده مشاهده نشد، پس از توقف آزمایش نسبت به باز کردن میراگرها از روی نمونه‌ها اقدام شد. شکل (۳۴) دو نمونه از میراگرهای باز شده را نشان می‌دهد.

۷- مدل‌های اجزاء محدود

در این بخش رفتار چرخه‌ای مدل‌های آزمایشگاهی توسط نرم افزار Abaqus شبیه‌سازی شد. برای ساخت ستون و تیر

شکل (۲۸) و (۲۹) به ترتیب نمایی از مدل‌های آزمایشگاهی (CPYD1-A) و (CPYD2) را نشان می‌دهند.

بارگذاری چرخه‌ای توسط جک هیدرولیکی به صورت تغییرمکان در ابتدای تیر، اعمال و مقدار بار حین بارگذاری توسط سلول بار اندازه‌گیری شد. این بارگذاری براساس پروتکل پیشنهادی AISC341-05، نشان داده شده در شکل (۳۰)، تا پایان سیکل متناظر با دوران ۰/۰۵ بر روی نمونه‌ها انجام شد.



شکل ۲۸- نمایی از مدل آزمایشگاهی (CPYD2)



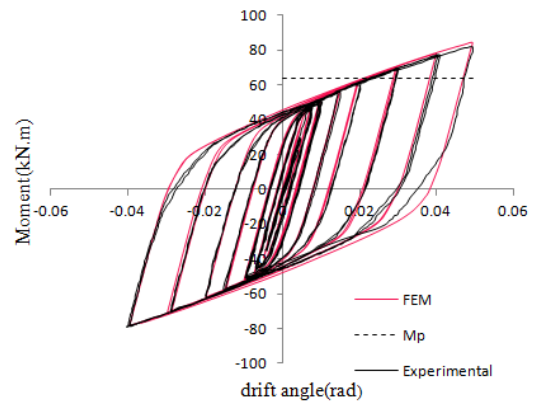
شکل ۳۴- دو نمونه میراگرهای بازگشایی شده پس از اتمام آزمایش

بارگذاری به صورت یک الگوی چرخه‌ای شبه استاتیکی به شکل اعمال تغییر مکان‌های چرخه‌ای مطابق الگوی بارگذاری آزمایشگاهی به ابتدای تیر اعمال شد.

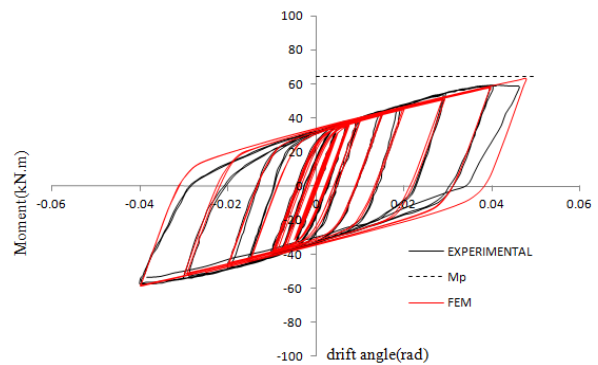
در شکل (۳۱)، (۳۲) و (۳۳) منحنی لنگر-دوران نمونه‌های (CPYD1-A)، (CPYD1-B) و (CPYD2) حاصل از داده‌های تحلیل عددی و آزمایشگاهی با هم مقایسه شده‌اند. نتایج تحلیل اجزاء محدود در تمام نمونه‌ها، انطباق خوبی با نتایج حاصل از آزمایش دارد و می‌توان رفتار چرخه‌ای اتصالات پیشنهادی را با دقت قابل قبولی توسط مدل‌سازی عددی شرح داده شده ارزیابی کرد.

یکی از پارامترهایی که در بررسی رفتار چرخه‌ای اتصالات مورد بررسی قرار می‌گیرد، کرنش معادل پلاستیک (PEEQ) می‌باشد. کرنش پلاستیک معادل، نشان‌دهنده میزان کرنش‌های ماندگار در مصالح و به عبارت دیگر نشان‌دهنده نواحی جذب انرژی می‌باشد. لذا کانتور (PEEQ) در انتهای سیکل بارگذاری برای نمونه‌های مورد بررسی در شکل (۳۵)، (۳۶) و (۳۷) نشان داده شده است که موید تمرکز تغییر شکل‌های غیرارتجاعی در میراگرها می‌باشد.

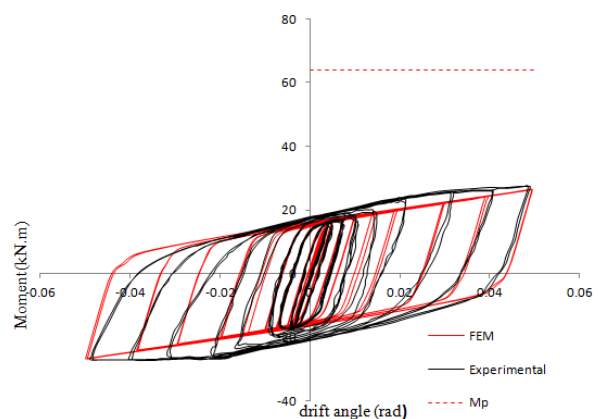
به منظور مقایسه عملکرد لرزه‌ای اتصالات پیشنهادی با یک اتصال مینا، یک مدل اتصال تیر به ستون با مقطع کاهش یافته (RBS) با مشخصات تیر و ستون مشابه با نمونه‌های آزمایشگاهی، به روش اجزاء محدود مدل‌سازی و تحت بارگذاری مشابه تحلیل شد. در شکل (۳۸)، (۳۹) و (۴۰) منحنی لنگر-دوران اتصال (RBS)، با منحنی متناظر برای نمونه‌های (CPYD1-A)، (CPYD1-B) و (CPYD2) مستخرج از داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شده‌اند.



شکل ۳۱- نمودار لنگر-دوران نمونه عددی و آزمایشگاهی (CPYD1-A)

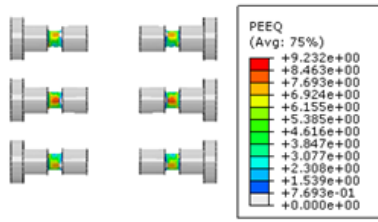


شکل ۳۲- نمودار لنگر-دوران نمونه عددی و آزمایشگاهی (CPYD1-B)

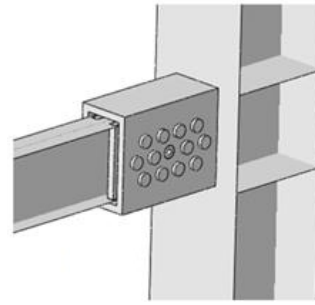


شکل ۳۳- نمودار لنگر-دوران نمونه عددی و آزمایشگاهی (CPYD2)

در مدل‌های اجزاء محدود از المان نوع shell و جهت مدل‌سازی اجزاء اصلی اتصال مانند میراگرها، شفت، واشر و صفحات (S1)، (S2) و (S3) از المان C3D8R استفاده شده است. جهت مدل‌سازی اتصال قطعات توسط جوش و همچنین در محل اتصال رزوه میراگر به مهره، بین آنها قید tie اعمال شد. برای شبیه‌سازی تماس بین واشر با صفحات (S3)، بدنه میراگر و شفت با دیواره سوراخ‌های محل قرارگیری آنها از قید contact به صورت surface to surface استفاده شده است.

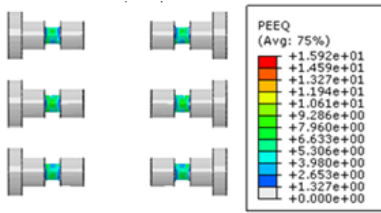


(ب)

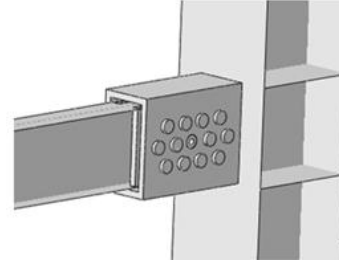


(الف)

شکل ۳۵- (الف) کانتور PEEQ در اتصال (CPYD1-A) (ب) کانتور PEEQ در میراگرها

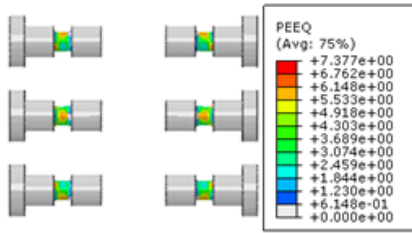


(ب)

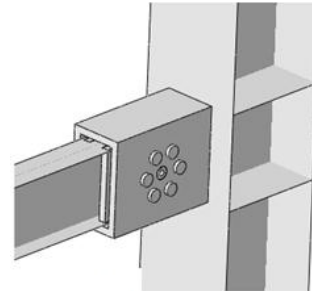


(الف)

شکل ۳۶- (الف) کانتور PEEQ در اتصال (CPYD1-B) (ب) کانتور PEEQ در میراگرها

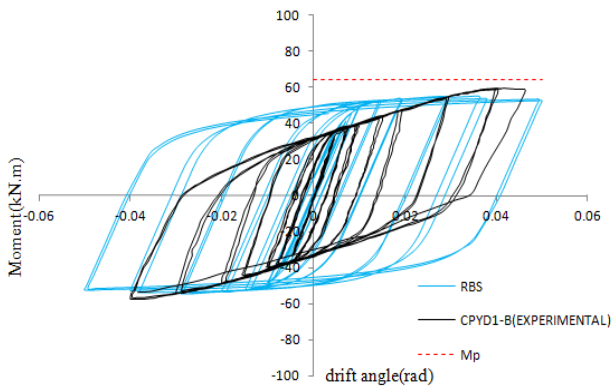


(ب)

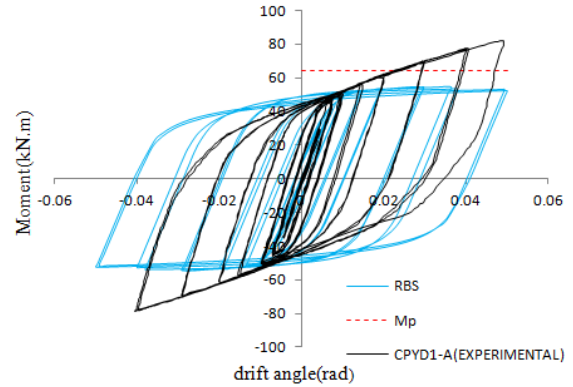


(الف)

شکل ۳۷- (الف) کانتور PEEQ در اتصال (CPYD2) (ب) کانتور PEEQ در میراگرها



شکل ۳۹- مقایسه نمودار لنگر-دوران نمونه (CPYD1-B) و RBS



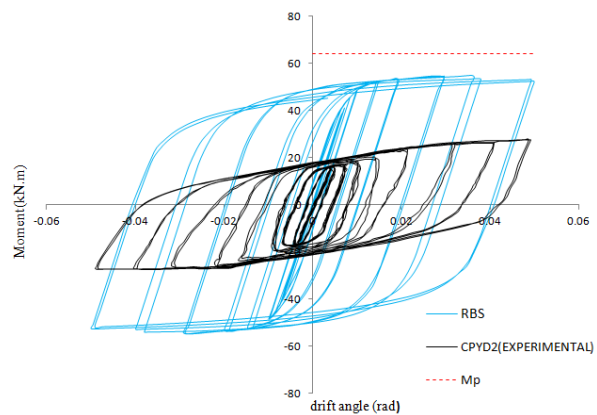
شکل ۳۸- مقایسه نمودار لنگر-دوران نمونه (CPYD1-A) و RBS

لرزه‌ای، نمونه‌ها تحت بارگذاری چرخه‌ای مورد آزمایش قرار گرفتند.

نتیجه بررسی نشان داد طرح رایج شده در این تحقیق، برای الگوی قرارگیری میراگر میله تسلیمی در اتصال تیر به ستون، در صورت طراحی مناسب می‌تواند تحت بارگذاری چرخه‌ای خواسته‌های اتصال را از نظر تحمل لنگر و دوران وارده بر طبق آیین‌نامه‌ها برآورده سازد، به طوری که اتصالات (CPYD1-A) و (CPYD1-B) به ترتیب، لنگری معادل $1/27$ و $0/91$ برابر لنگر پلاستیک تیر (M_p) را در دوران ۴ درصد تحمل کردند. از مزیت‌های دیگر این اتصال می‌توان به تمرکز تغییرشکل‌های غیرارتجاعی ناشی از بارگذاری چرخه‌ای در میراگرها، در تمام نمونه‌های مورد بررسی اشاره کرد، به‌طوریکه سایر نواحی سازه تا انتهای بارگذاری در حالت الاستیک باقی مانده‌اند، که این مساله علاوه بر تأیید صحت طراحی سیستم حاکی از کارآمدی میراگرها در جذب تغییرشکل‌های غیرارتجاعی و جلوگیری از تشکیل مفصل پلاستیک در تیر می‌باشد.

۹- مراجع

- [1] Engelhardt, M.D. and Husain, A.S. (1993), "Cyclic-Loading Performance of Welded Flange-Bolted Web Connections", Journal of Structural Engineering, Vol. 119, pp. 3537-3550.
- [2] Hassani-pour, A., Rahnava-d, R., Mokhtari, A. and Rahnava-d, N. (2015), "Numerical Investigation on Reduced Beam Web Section Moment Connections under the Effect of Cyclic Loading", Journal of Multidisciplinary Engineering, Science and Technology, Vol. 119, pp. 2054-2061.
- [3] Maleki, S. and Tabbakhha, M., (2016), "Numerical study of Slotted-Web-Reduced-Flange Moment Connection", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 69, pp. 1-7.
- [4] Rahnava-d, R., Hassani-pour, A. and Shiahpolo, N. (2015), "Analytical Study on New Types of Reduced Beam Section Moment Connections Affecting Cyclic Behavior", Case Studies in Structural Engineering, Vol. 3, pp. 33-51.
- [5] Fanaie, N., Kazerani, S. and Soroushnia, S. (2015), "Numerical Study of Slotted Web Drilled Flange Moment Frame Connection", Numerical Methods in Civil Engineering, Vol. 1, pp. 16-23.
- [6] Mirghaderi, S.R., Torabian, S. and Imanpour, A. (2010), "Seismic Performance of the Accordion-Web RBS Connection", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 66, pp. 277-288.
- [7] Saleh, A., Mirghaderi, S. and Zahrai, S. (2016), "Cyclic Testing of Tubular Web RBS Connections in Deep Beams", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 117, pp. 214-226.
- [8] Morrison, M., Schweizer, D. and Hassan, T. (2015), "An Innovative Seismic Performance Enhancement Technique for Steel Building Moment Resisting Connections", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 109, pp. 34-46.
- [9] Tanaka, N. (2003), "Evaluation of Maximum Strength and Optimum Haunch Length of Steel Beam-End with Horizontal Haunch", Journal of Engineering Structures, Vol. 25, pp. 229-239.
- [10] Chih Chen, C., Ming Lee, J. and Chih Lin, M. (2003),



شکل ۴- مقایسه نمودار لنگر-دوران نمونه (CPYD2) و RBS

با مقایسه نتایج، در نمونه (CPYD1-A) و (CPYD1-B) مقدار لنگر خمشی اتصال در دوران ۴ درصد به ترتیب، معادل $1/17$ و $0/9$ برابر لنگر پلاستیک تیر (M_p) می‌باشد که این مقادیر بزرگ‌تر از حداقل مقاومت خمشی قابل قبول ($0/8M_p$)، برای اتصالات خمشی ویژه براساس آیین‌نامه AISC می‌باشد. در جدول (۳) حداکثر لنگر اتصالات مورد بررسی، نتایج به دست آمده از روابط تحلیلی ذکر شده در این مقاله و داده‌های آزمایشگاهی و اجزاء محدود نمایش داده شده است. در جدول (۴) مقادیر انرژی تلف شده برای نمونه‌های مورد بررسی نشان داده شده است.

جدول ۳- مقایسه نتایج تحلیلی، آزمایشگاهی و اجزاء محدود

نمونه	حداکثر لنگر تئوری (KN.m)	حداکثر لنگر اجزاء محدود (KN.m)	حداکثر لنگر آزمایشگاهی (KN.m)
CPYD1-A	۷۶/۶	۸۴/۲	۸۱/۹
CPYD1-B	۶۰/۱	۵۴/۹	۵۹/۱
CPYD2	۲۴	۲۶/۵	۲۶/۳

جدول ۴- مقادیر انرژی تلف شده برای نمونه‌ها

نمونه	انرژی مستهلک شده (J)
CPYD1-A	۲۷۵۶۲
CPYD1-B	۲۴۱۸۸
CPYD2	۱۲۱۹۲

۸- نتیجه گیری

در این پژوهش نوع جدیدی از اتصال تیر به ستون فولادی با میراگرهای تسلیمی معرفی شده است و به منظور بررسی رفتار



- [15] Köken, A., Köroglu, A. (2015), "Experimental Study on Beam-to-Column Connections of Steel Frame Structures with Steel Slit Dampers", *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol. 29, pp. 1–11.
- [16] Banisheikholeslami, A., Behnamfar, F. and Ghandil, M. (2016), "A Beam-to-Column Connection with Visco-Elastic and Hysteretic Dampers for Seismic Damage Control", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 117, pp. 185–195.
- [17] Vasdravellis, G., Karavasilis, T. and Uy, B. (2013), "Finite Element Models and Cyclic Behavior of Self-Centering Steel Post-Tensioned Connections Connections with Web Hourglass Pins", *Engineering Structures*, Vol. 52, pp. 1–16.
- [18] AISC 341-05, (2005), *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction.
- "Behaviour of Steel Moment Connections with a Single Flange Rib", *Engineering Structures*, Vol. 25, pp. 1419–1428.
- [11] Che Chou, C., Wei Lo, S. and Show Liou, G. (2013), "Internal Flange Stiffened Moment Connections with Low-Damage Capability under Seismic Loading", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 87, pp. 38–47.
- [12] Stoakes, C. and Fahnestock, L. (2012), "Cyclic Flexural Analysis and Behavior of Beam-Column Connections with Gusset Plates", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 72, pp. 227–239.
- [13] Oh, S.-H., Kim, Y.-J. and Ryu, H.-S (2009), "Seismic Performance of Steel Structures with Slit Dampers", *Engineering Structures*, Vol. 31, pp. 1997–2008.
- [14] Saffari, H., Hedayat, A. and Nejad, M.P. (2013), "Post-Northridge Connections with Slit Dampers to Enhance Strength and Ductility", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 80, PP. 138–152.

پی نوشت

¹ Reduced Beam Section (RBS)