

## Numerical investigation of the new steel connection using short stub column

Mehrdad Taheripour

Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

<sup>1,2,\*</sup>

Farzad Hatami

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

<sup>2</sup>Department of Structures and Earthquake Research Center, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

Reza Raoufi

Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

[hatami@aut.ac.ir](mailto:hatami@aut.ac.ir)

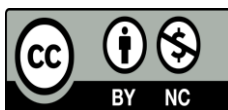
DOI 10.30495/CIVIL.2023.703236

### Keywords:

Steel connection, stub, Ductility, plastic strain, finite elements

### Abstract

There is little evidence of the formation of plastic zones in damaged structures in different types of earthquakes. Most of the conducted studies have focused on creating a plastic hinge in a part of the beam making irreparable damage to the beam. If the plastic joint in the beam does not occur, a force will be created which is more than the plastic moment of the beam and will be transferred to the connection and finally to the column. This will either cause the brittle failure of the connection or damage to the panel zone of the column. Therefore, in this research, four connections with new geometry have been proposed aimed at reducing damage in beams and columns and creating the possibility of replacing damaged parts. In general, the presented connections are suggested by replacement of an H or I-shaped cross section along with or replacing of an end-plate, as a short stub column. In this research, first, a finite element model of the end-plate connection, which is a combination of welding and screwing subjected to cyclic loading was selected. Then, after the validation of Abaqus software, a study was carried out on the proposed connections. The results indicate that the stub region, with its nonlinear behavior, creates a controlled limited joint with extraordinary ductility. Yielding in the stub causes its fusion behavior and prevents damage to beams and columns. It also significantly reduces the plastic stress and strain in the panel zone of the column.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

(این نشریه تحت قانون بین المللی کپی رایت Creative Commons: BY-NC می باشد).

# بررسی عددی اتصال پیشنهادی فلزی با استفاده از استاب ستون کوتاه

مهرداد طاهری پور

گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

فرزاد حاتمی اوآو\*

<sup>۱</sup>گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

<sup>۲</sup>مرکز تحقیقات سازه و زلزله، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

رضا رؤفی

گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

hatami@aut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۹ اردیبهشت ۱۴۰۲

تاریخ دریافت: ۲۰ دی ۱۴۰۱

## چکیده

در سازه‌های آسیب دیده در زلزله‌های مختلف، تنها شواهد اندکی دال بر اینکه نواحی پلاستیک واقعاً تشکیل شده باشند وجود دارد. اکثر مطالعات انجام شده بر روی ایجاد مفصل پلاستیک در قسمتی از تیر تمرکز داشته، که این امر در صورت وقوع باعث آسیب غیر قابل جبران برای تیر می‌شود و در صورت عدم وقوع مفصل پلاستیک در تیر سبب انتقال نیرویی بیش از لنگر پلاستیک تیر به اتصال و در نتیجه به ستون شده که این امر یا باعث شکست ترد اتصال می‌شود و یا منجر به آسیب دیدن ستون به ویژه چشمه اتصال خواهد شد. لذا در این تحقیق با هدف کاهش آسیب در تیر و ستون و امکان جایگزینی قطعات آسیب چهار اتصال با هندسه جدید ارائه شده است. در حالت کلی، اتصالات پیشنهادی با جایگزینی یک مقطع H یا I شکل همراه یا به جای ورق انتهایی به عنوان استاب ستون کوتاه پیشنهاد می‌گردد. در این مطالعه ابتدا یک نمونه مدل اجزاء محدودی از اتصال ورق انتهایی که ترکیب جوش و پیچ بوده و تحت بار گذاری متناوب قرار گرفته است، انتخاب و پس از صحت سنجی در نرم‌افزار آباکوس مطالعه بر روی اتصالات پیشنهادی انجام پذیرفت. نتایج نشان می‌دهد ناحیه‌ی استاب، با رفتار غیرخطی، یک مفصل محدود کنترل شده، با شکل پذیری فوق العاده را بوجود می‌آورد. تسلیم به هنگام در استاب سبب رفتار فیوزی آن و عدم آسیب به تیر و ستون می‌شود و تنش و کرنش پلاستیک را به‌طور قابل ملاحظه‌ای در چشمه اتصال ستون کاهش می‌دهد.

کلید واژگان: اتصال فلزی، استاب، شکل پذیری، کرنش پلاستیک، اجزاء محدود

## ۱- مقدمه

در بخش‌هایی از تیر، باعث تضعیف در یک ناحیه مشخص و از پیش تعیین شده می‌گردد، که با این کار مفصل پلاستیک از برستون به داخل تیر منتقل خواهد شد. انواع اتصالات تیر با مقطع کاهش یافته از این دسته‌اند [۹]. تلاش‌های هم صورت گرفته که با استفاده از یک استاب اتصال مستقیم تیر به ستون به یک فاصله از بر ستون منتقل شود.

بهرز و عرفانی [۱۰] از یک استاب تیر کوتاه برای اتصال تیر I شکل به ستون جعبه‌ای به وسیله‌ی ورق انتهایی استفاده کردند. شن [۱۱] به بررسی دو نوع اتصال با قابلیت تعویض بصورت آزمایشگاهی با استفاده از تئوری مقطع تیر کاهش یافته پرداخت. در این اتصال مابین تیر که بصورت ترکیب ورق انتهایی و یک استاب است، از یک لینک قابل تعویض، با یک مقطع کوچکتر نسبت به تیر اصلی استفاده شد، بصورتی که مفصل پلاستیک در آن لینک تشکیل شود. لی [۱۲] یک نوع خاص از اتصالات کانال معکوس را مورد ارزیابی قرار دادند که در آن جان‌های ناودانی به ستون جعبه‌ای جوش و بال آن به تیر به شکل اتصال ورق انتهایی متصل می‌شود.

یلماز و بکیروچ<sup>۴</sup> [۱۳] با استفاده از یک استاب به شکل تیر کوتاه، به ارزیابی اجزاء محدودی اتصال خمشی تیر به ستون فولادی، در جهت محور ضعیف ستون، تحت بارگذاری مونوتونیک پرداختند. هو<sup>۵</sup> و همکاران [۱۴] در یک مطالعه با استفاده از یک استاب فلزی که توسط یک لینک با طول کوتاه که از یک مقطع فولادی H شکل با جان باز تشکیل شده است، یک دستگاه اتلاف انرژی قابل جایگزین برای اتصالات تیر به ستون بتنی از پیش ساخته ارائه داد. پنگ<sup>۶</sup> [۱۵] با تعبیه یک استاب که از یک لولا مکانیکی و یک جفت ورق فولادی مقاوم در مقابل کماتش تشکیل می‌شود، یک اتصال تیر به ستون برای کنترل آسیب‌های لرزه‌ای سازه‌های فولادی ارائه داد. لولا مکانیکی برای حمل نیروی برشی استفاده می‌شود در حالی که ورق فولادی مقاوم در مقابل کماتش به بال‌های تیر، پیچ و برای انتقال لنگر خمشی استفاده می‌شود. در اتصالات خمشی صلب متداول انتقال لنگر از تیر به ستون به صورت یک کوپل نیرو انجام می‌شود، در نتیجه دو نیروی متمرکز در ناحیه اتصال بر ستون وارد می‌شود، که این موضوع سبب افزایش تنش در چشمه اتصال خواهد شد. همچنین افزایش مقاومت و سختی اتصال باعث کاهش شکل پذیری می‌شود، از طرفی دیگر یک اتصال مقاوم سبب انتقال تمام نیرو و لنگر ایجاد شده به ستون، به ویژه چشمه اتصال شده و سبب آسیب پذیری ستون خواهد شد. افزایش سطح تماس اتصال با بال ستون سبب

نتایج چندین مطالعات تجربی قبلی نشان داده که اتصالات نیمه‌صلب خواص عالی دارند، که آنها را جایگزین قابل اعتماد برای اتصالات کاملاً صلب می‌کند. این خواص شامل نیاز به برش پایه کمتر، اقتصادی‌تر و در بسیاری موارد توانایی جذب بیشتر انرژی است [۱]. اتصالات باید به اندازه کافی ضمن مقاومت در مقابل نیروهای برشی و خمشی و پیچشی، ظرفیت تحمل تغییر شکل و چرخش را داشته باشند تا بتواند با موفقیت انتقال نیروها را از تیر به ستون انجام داده و شکل‌پذیری مورد نیاز را فراهم نمایند. از این رو، قوانینی برای کفایت اتصالات تحت بارگذاری استاتیک یا دینامیکی ایجاد شده است، و قوانین بیشتری برای اتصالات تازه پیشنهاد شده مورد نیاز است [۲]. از این رو مطالعات گسترده انجام شده و چندین اتصال جدید برای اتصال تیر به ستون از زمان زمین‌لرزه نوتریچ پیشنهاد شده است [۳]. با این حال پیدا کردن یک اتصال مناسب برای تیر به ستون هنوز تحت بررسی است [۴]. برای داشتن جذب انرژی پلاستیک، وقوع تسلیم ضروری است و شکست ترد اتصال مانع از این می‌شود که اتصالات خمشی رفتار غیرالاستیک مورد نظر را برای مقاومت در برابر بارهای زلزله از خود نشان بدهند. تنش‌های سه محوره، تأثیر شدیدی در کاهش شکل‌پذیری و بروز رفتار ترد دارند. هنگامیکه فولاد بصورت همزمان در دو یا سه جهت بارگذاری شود، قادر نخواهد بود شکل‌پذیری ذاتی خود را به نمایش بگذارد و به جای رفتار شکل‌پذیر، بدون نشان دادن افزایش طول، دچار شکست ترد می‌شود [۵].

ترمبلی<sup>۱</sup> و همکاران [۶-۷] کارایی سازه‌های فولادی را در طی زلزله‌های نوتریچ و کوبه بررسی کرد. شکست ترد و آسیب ناشی از اتصالات در فرآیند مقاوم در برابر لنگر نشان داد که معیارهای طراحی در عمل قبل از زلزله نوتریچ باعث ایجاد لولای پلاستیکی در تیر نشد. در اتصالات متعارف پس از زلزله نوتریچ هدف بطور عمده انتقال مفصل پلاستیک به داخل تیر و به یک فاصله معین از بر ستون است. بگونه‌ای که باعث کاهش تمرکز کرنش به وجود آمده در ناحیه اتصال شده و در نتیجه باعث کاهش میزان ترک‌خوردگی جوش و شکست ترد در اتصال می‌شود [۸]. روش‌های متعددی برای انتقال مفصل پلاستیک پیشنهاد شده است. در حالت کلی این روش‌ها به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند. در روش اول اتصالات بگونه‌ای طراحی شده‌اند که با افزودن اجزایی به اتصال باعث افزایش مقاومت تیر در ناحیه اتصال، و در نتیجه انتقال مفصل پلاستیک به داخل تیر خواهد شد. در روش دوم با کاهش مقاومت

<sup>4</sup> Yılmaz, Bekiroğlu

<sup>5</sup> Hu

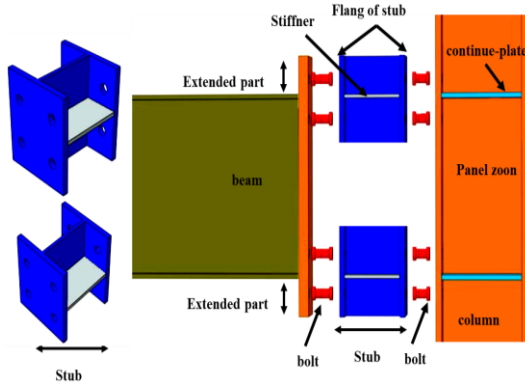
<sup>6</sup> Peng

<sup>1</sup> Tremblay

<sup>2</sup> Shen

<sup>3</sup> Li

سپس بوسیله یک ورق قائم (جان استاب) در امتداد جان تیر با جوشکاری به یکدیگر متصل و با چهار ورق پیوستگی که در راستای بال‌های تیر نصب و در دو طرف ورق قائم جوش می‌شوند تشکیل یک استاب یکپارچه را می‌دهند. این استاب بین ورق انتهایی تیر و ستون قرار می‌گیرد. ورق تیر به ورق انتهایی تیر و ورق ستون به بال‌های ستون با پیچ متصل می‌شوند. در اتصال پیشنهادی با وجود دو صفحه پیچ شده موازی، انعطاف‌پذیری مضاعفی در رفتار اتصال ایجاد می‌شود. ارتفاع مقطع استاب از ارتفاع تیر بیشتر بوده و بین دو بال اتصال با ورق‌های پیوستگی تقویت خواهد شد. به علت انجام تمامی جوش‌ها قبل از مونتاژ سازه، امکان جوشکاری با کیفیت بالا بازرسی آسان را فراهم می‌کند و کیفیت اجرای اتصال افزایش می‌یابد. همچنین استاب به گونه‌ای طراحی می‌شود تا در هنگام بارگذاری با پلاستیک شدن از آسیب رساندن به تیر و ستون جلوگیری کند و بعد از بارگذاری مقطع استاب قابل تعویض باشد.



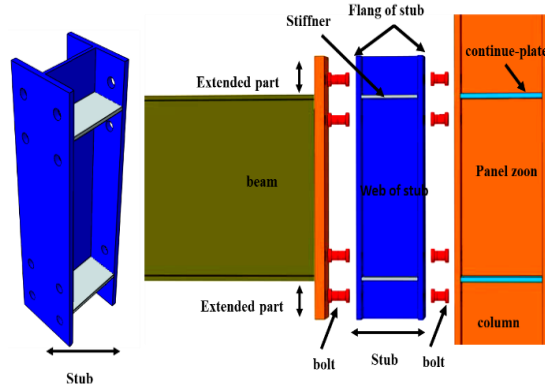
شکل ۲- اتصال با استاب یکپارچه ستون کوتاه D-SSC

۲-۲- نمونه دوم: دابل استاب ستون کوتاه (D-SSC)

هندسه این اتصال همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده مشابه با نمونه‌ی اول است با این تفاوت که استاب مورد استفاده از دو مقطع جداگانه‌ی H شکل تشکیل شده که ارتفاع هریک، ثلث ارتفاع استاب نمونه اول می‌باشد. در این نمونه استاب با رفتار غیرخطی بصورت میراگر عمل کرده و از انتقال لنگر اضافی از تیر به ستون جلوگیری می‌کند. از آنجاییکه ضخامت ورق‌های بال‌ها و جان استاب و همچنین ضخامت ورق پیوستگی در استاب رفتار اتصال را به طور قابل توجهی تحت تاثیر قرار می‌دهد، عملکرد سازه را می‌توان با طراحی مناسب ضخامت این قطعات در اتصال پیشنهاد شده کنترل کرد. به عبارت دیگر، با تعیین حداکثر انتقال لنگر بین تیر و ستون از طریق استاب، می‌توان مقطع بهینه برای

پخش نیروهای وارده به ستون می‌شود، که علاوه بر شکل‌پذیری، سبب کاهش تنش وارده به چشمه اتصال خواهد شد.

لذا ایده‌ی ارائه اتصالی با امکان انعطاف در مقابل تغییر شکل در سازه، همچنین با هدف کاهش آسیب در ستون بوجود آمد. از اینرو در این تحقیق سعی شده با استفاده از ترکیب اتصال با استفاده از استاب و اتصال با ورق-انتهایی به ارائه نوع جدیدی از اتصال با قابلیت طراحی آسان و با امکان تغییر رفتار اتصال پرداخته شود. اتصال پیشنهادی شامل یک مقطع I یا H شکل است که در راستای محور قوی خود بین تیر و ستون قرار می‌گیرد. این اتصال با پلاستیک شدن از آسیب رساندن به سایر اجزاء سازه جلوگیری می‌کند. استفاده از استاب سبب دور شدن مفصل پلاستیک از ستون خواهد شد. از طرفی با افزایش سطح انتقال نیرو به ستون تنش در چشمه اتصال ستون را کاهش می‌دهد. استفاده از پروفیل‌های نورد شده در اتصال (که می‌تواند از قطعات مازاد نیز استفاده شود) همراه با ورق‌های سخت‌کننده امکان انعطاف‌پذیری در رفتار اتصال را فراهم می‌کند.



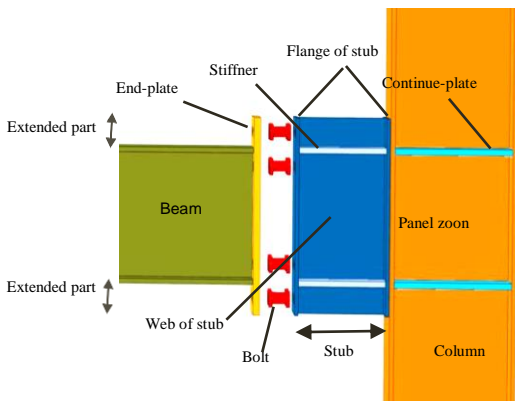
شکل ۱- اتصال با استاب یکپارچه ستون کوتاه SSC

## ۲- اتصالات پیشنهادی

۲-۱- نمونه اول: استاب یکپارچه ستون کوتاه SSC

در حالت کلی همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است، اتصال پیشنهادی با استفاده یک مقطع H شکل بصورت یک استاب ستون کوتاه بوسیله پیچ به ستون متصل می‌شود. این اتصال شامل دو قسمت می‌باشد. قسمت اول، ورقی است که به انتهای تیر (ورق انتهایی-تیر) جوش داده شده است. قسمت دوم اتصال شامل یک استاب است که از ورق تیر و ورق ستون (در واقع بال‌های استاب هستند) تشکیل شده که با یک فاصله‌ی نسبت به هم قرار می‌گیرند. این دو ورق موازی با بال ستون می‌باشند.

شکلپذیری بهتر آن خواهد شد. این اتصال جایگزین مناسبی برای اتصال درختی خواهد بود.



شکل ۴- اتصال استاب ستون کوتاه همراه ورق\_انتهایی (W-SSC)

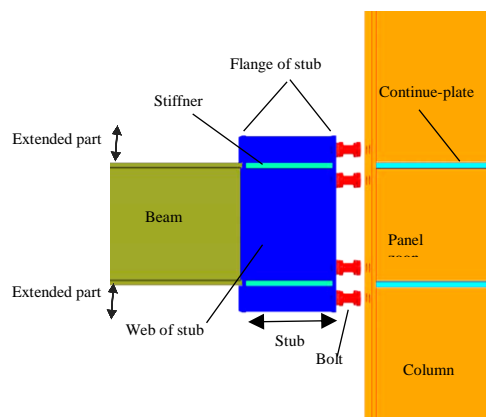
### ۳- مدل‌سازی عددی رفتار اتصالات پیشنهادی

مطالعات زیادی برای مدل سازی رفتار اتصالات انجام پذیرفته است. برای بررسی پارامترهای تأثیر گذار بر رفتار اتصالاتی مدل سازی آزمایشگاهی مستلزم صرف هزینه و وقت فراوانی است. با پیشرفت تکنولوژی در چند سال اخیر و توسعه روش اجزاء محدود شبیه سازی با استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری می تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های آزمایشگاهی باشد. بنابراین در این بخش ابتدا با استفاده از روش المان محدود غیر خطی نمونه آزمایشگاهی را آنالیز کرده و صحت نتایج مورد بررسی قرار می‌گیرد. از آنجا که اتصال پیشنهادی در این مطالعه ترکیب پیچ و جوش می‌باشد و براساس هندسه ورق انتهایی است، بنابراین در این تحقیق یک نمونه مطالعه آزمایشگاهی اتصال تیر به ستون بوسیله ورق انتهایی امتداد یافته از نوع سخت نشده، که بوسیله چهار پیچ در دو طرف هر بال تیر، به بال ستون متصل شده است، انتخاب گردید و با استفاده از روش اجزاء محدود شبیه‌سازی و صحت نتایج را مورد بررسی قرار گرفت. برای آنکه مدل شبیه سازی شده تا حد ممکن به نمونه واقعی نزدیک باشد لازم است که مدل‌سازی دقیق اعضا و اتصالات با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح بررسی شود. همچنین مصالح، شرایط تکیه گاهی و ابعاد مقاطع مشابه با نمونه آزمایشگاهی است. همه اعضا بصورت قطعات جداگانه مدل شده‌اند. برای قسمت استاب به علت اینکه ریشه‌ی جوش‌ها باعث کاهش طول کمانش جان و بال استاب می‌شود مدل‌سازی جوش‌ها دارای اهمیت است و بصورت یک قطعه مثلثی مدل شده است. اما برای سایر قسمت‌ها از جمله اتصال تیر به ورق انتهایی و سخت‌کننده ها به تیر، با توجه به مقاومت بالای مواد جوش در مقایسه با فولاد

اتصال را طراحی کرد. این نکته قابل توجه است که با افزایش انعطاف پذیری سازه‌ها، سطح عملکرد سازه می‌تواند افزایش یابد.

۲-۳- نمونه سوم : استاب ستون کوتاه جایگزین ورق انتهایی (B-SSC)

سومین اتصال پیشنهادی شکل (۳) شامل یک استاب می‌باشد که بصورت یک ستون کوتاه در راستای محور قوی خود بین تیر و ستون به گونه‌ای قرار گرفته که یک بال آن به ستون پیچ شده و بال دیگر آن به تیر جوش داده می‌شود، برای جبران کمبود ممان اینرسی استاب نسبت به تیر، جان و بال آن بوسیله سخت‌کننده تقویت می‌شود. این سخت‌کننده‌ها در راستای بال‌های تیر قرار دارند تا خروج از مرکزیت سبب ایجاد لنگر در بال‌های استاب نشود. در صورتی که ضخامت سخت‌کننده‌ها از ضخامت بال تیر بیشتر شود اتصال پیشنهادی بصورت صلب عمل می‌کند و مفصل پلاستیک در تیر تشکیل می‌شود. و اگر ضخامت سخت‌کننده‌ها از ضخامت بال تیر کمتر شود استاب بصورت میراگر عمل کرده و مفصل پلاستیک در آن تشکیل می‌شود. در اتصال پیشنهادی ارتفاع استاب از ارتفاع تیر بیشتر می‌باشد. به علت انجام تمامی جوش‌ها قبل از مونتاژ سازه، کیفیت اجرای اتصال افزایش می‌یابد. عرض بال استاب حداقل باید به اندازه عرض بال تیر و حداکثر برابر با عرض بال ستون می‌باشد.



شکل ۳- اتصال استاب ستون کوتاه جایگزین ورق انتهایی (B-SSC)

۲-۴- نمونه چهارم : استاب ستون کوتاه همراه ورق انتهایی (W-SSC)

در این مدل همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است، یکی از بال‌های استاب به ستون جوش و تیر همراه با ورق انتهایی جوش شده، به بال دیگر استاب پیچ می‌شود. عرض ورق انتهایی برابر با عرض بال استاب می‌باشد. مشابه با مدل‌های قبلی جان و بال استاب بوسیله سخت‌کننده تقویت می‌شوند. وجود یک لایه پیچ در اتصال سبب

معمولی، جوش ها به طور صریح در شبیه سازی المان مدل نشده و از خاصیت مقید کردن از نوع Tie استفاده شد. این قید این امکان را می دهد که دو ناحیه با مش های متفاوت را با یکدیگر ترکیب کنیم. در این حالت درجات آزادی گره های سطح پیرو توسط درجات آزادی گره های سطح پایه مقید می شوند. شرایط مرزی در مدل شبیه سازی شده مشابه با شرایط مرزی در نمونه آزمایش تنظیم شده است. معیار پلاستیک شدن مصالح براساس معیار بحرانی ون میسز بوده و منحنی تنش - کرنش به صورت سه خطی برای معرفی رفتار سخت شدگی آن ایده آل و سخت شدگی ایزوتروپیک و کینماتیک در رفتار غیرخطی مصالح در نظر گرفته شده است. مقدار مدول الاستیسیته یانگ و نسبت پواسون به ترتیب به ترتیب برابر با  $2 \times 10^5$  و  $0.3$  است. از آنجا که بارگذاری در مدل آزمایشگاهی با سرعت پایین انجام می شود پس نوع تحلیل حالت عمومی استاتیک می باشد. این نوع تحلیل توانایی حل و شبیه سازی کماتش جانبی و بارگذاری های چرخش را داراست. در این مدل دو مرحله تحلیل در نظر گرفته شده است. در مرحله اول نیروی پیش کشیدگی پیچ ها اعمال می شود و سپس در مرحله دوم، بارگذاری چرخه ای جانبی در نوک تیر، اعمال می شود. در مرحله دوم با در نظر گرفتن اثر هندسه غیرخطی، تغییر شکل های بزرگ و کرنش پلاستیک با دقت بیشتری در تحلیل محاسبه خواهد شد. بارگذاری بر انتهای تیر بصورت استاتیکی و کنترل جابجایی وارد می شود. در مرحله اول بارگذاری نمونه نیروی پیش کشیدگی پیچ اعمال می شود. تاریخچه بارگذاری در نمونه براساس پروتکل بارگذاری SAC / BD- 97/02 [۱۶] انتخاب شده است. این پروتکل بر اساس چرخش نسبی انتهای تیر استوار است. جابجایی انتهای تیر از ضرب زاویه دیررفت در طول تیر بدست می آید. لنگر وارد بر اتصال نیز برابر نیروی است که جابه جایی مورد نظر را رقم می زند ضرب در فاصله نوک تیر تا مرکز ستون می باشد. ذکر این نکته ضروریست به علت کاهش زمان انجام محاسبات برای هر سطح دیررفت فقط یک سیکل بارگذاری انجام خواهد شد.

یکی از مراحل پیچیده در شبیه سازی اتصالات پیچی معرفی المان های تماسی است. این مدل دارای ۱۶۷ تماس می باشد. و شامل تماس های بین بدنه پیچ ها با سوراخ ها، تماس بین بال های استاب با ستون و ورق انتهایی و تماس های بین سر پیچ ها با سایر ورق ها می باشد. المان تماسی شامل دو پارامتر عمده می باشد. پارامتر اول رفتار نرمال تماسی، باعث برخورد سخت و جلوگیری از نفوذ دو سطح در یکدیگر می شود. پارامتر دوم رفتار مماسی می باشد که به تعریف اصطکاک و ضریب آن می پردازد. این ضریب برابر با  $0.3$  در نظر گرفته می شود. بطور کلی در این مدل سه

دسته مجزا با هم تماس خواهند داشت. اولین تماس ایجاد شده بین بال های استاب با بال ستون و ورق انتهایی است. دومین دسته تماس بین سر و مهره پیچ ها با ورق ها و بال ستون خواهد بود. و سومین دسته تماس بین بدنه پیچ ها با سوراخ ها می باشد. تمامی تماسها از نوع سطح به سطح تعریف می شود.

آخرین مرحله از مدل سازی مش بندی و اختصاص المان به قطعات می باشد. در مش بندی هر چه میزان چگالی دانه بندی ریزتر، مش های ایجاد شده بیشتر و تغییر شکل ها و نتایج به واقعیت نزدیکتر و میزان زمان تحلیل بیشتر خواهد بود. بنابراین باید میزان آن را بهینه کرد. برای این منظور تنها در نزدیکی استاب از مش بندی ریز استفاده خواهد شد. در نهایت، تعداد کل ۵۵۶۸۳ المان و ۱۶۳۵۶۱ گره برای مدل نهایی در نظر گرفته شده است. در این مدل از دو نوع المان استفاده شده است المان C3D8R که دارای ۸ گره می باشد و از نوع خطی است، و المان C3D20R که المان ۲۰ گره ای می باشد و از نوع درجه دو می باشد. تیر و پیچ از نوع ۲۰ گره ای و سایر اعضا با المان ۸ گره ای مدل شده اند. هر دو المان قابلیت پلاستیسیته، سخت شدگی و تغییر شکل های بزرگ را دارا هستند و در هر گره دارای سه درجه آزادی می باشد و می تواند رفتار غیرخطی را به خوبی نشان دهند.

### ۳-۱- صحت سنجی نمونه آزمایشگاهی

نمونه آزمایشگاهی برای بررسی صحت مدل اجزاء محدودی بر اساس آزمایشی است که سامنر<sup>۷</sup> [۱۷]، در دانشگاه ویرجینیا انجام داده مورد استفاده قرار گرفته است، این اتصال از نوع یک طرفه می باشد که تحت بارگذاری چرخه ای طبق پروتکل بارگذاری SAC قرار گرفته و منحنی لنگر- دوران آن مورد بررسی قرار گرفته است. این آزمایش شامل یک تیر به طول ۴۳۲ میلی متر (فاصله نوک تیر تا مرکز ستون) با مقطع  $w24 \times 68$  است که بصورت طره بوسیله ورق انتهایی با ضخامت ۳۹ میلی متر و با پیچ هایی به قطر ۳۸ میلی متر به ستونی با طول ۵۵۶ میلی متر با مقطع  $w14 \times 120$  متصل گشته، تکیه گاهای ستون بصورت مفصلی بوده و مجموعه ساخته شده بصورت افقی مونتاژ و نیروی اعمالی توسط یک جک هیدرولیکی بر انتهای تیر وارد می شود. در محل اعمال بار توسط سخت کننده ها تقویت گشته تا از لهیدگی بال تیر جلوگیری شود.

سعی شده مدل شبیه سازی شده تا حد ممکن به نمونه واقعی نزدیک باشد. مصالح، شرایط تکیه گاهی و ابعاد مقاطع مشابه با نمونه آزمایشگاهی

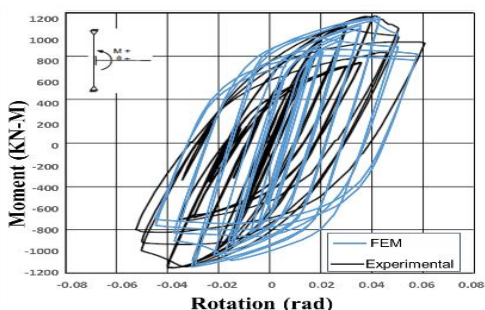
<sup>7</sup> Sumner

است. مشخصات مصالح بکار رفته در جدول (۱) و جزئیات ورق انتهایی در جدول (۲) و شکل (۵) نشان داده شده است.

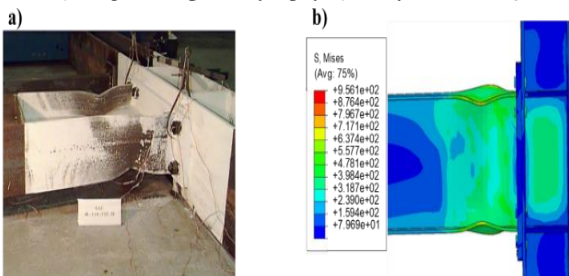
جدول ۱- مشخصات فولاد بکار رفته در آزمایش سامنر [۱۷]

	تنش تسلیم	
	kips-in (Mpa)	kips-in (Mpa)
تیر	۵۳,۶(۳۶۹)	۷۰,۷(۴۸۸)
ستون	۵۲(۳۵۸)	۷۰,۶(۴۸۷)
ورق انتهایی	۳۸,۱(۲۶۲)	۶۸,۸(۴۷۴)
ورق‌های پیوستگی	۳۶(۲۴۸)	۵۸(۴۰۰)
پیچ	۱۱۳(۷۷۹)	۱۳۸,۷(۹۵۶)

همانطور که مشاهده می‌شود نتایج بدست آمده حاصل از تحلیل المان محدود دارای نزدیکی مناسب و درصد خطا کم در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی است. در این مدل گسیختگی ناشی از کمناش پیچشی- جانبی بال و جان تیر در محل تشکیل مفصل خواهد بود و محل تشکیل مفصل نیز در فاصله تقریباً ۱۰ اینچ از بر ورق انتهایی می‌باشد که تقریباً برابر با نصف ارتفاع تیر است که برای اتصالات سخت نشده است عدد منطقی خواهد بود. در نهایت نتایج دارای نزدیکی مناسب و قابل قبولی است. مهمترین دلیل صحت مدل سازی تعیین مد گسیختگی و تطابق آن با مدل آزمایشگاهی است. مد گسیختگی بر اثر کمناش پیچشی \_ جانبی ، بال و جان تیر رخ می دهد. شکل (۷).



شکل ۶- مقایسه نمودار لنگر-دوران نمونه تحلیلی با آزمایش سامنر [۱۷]



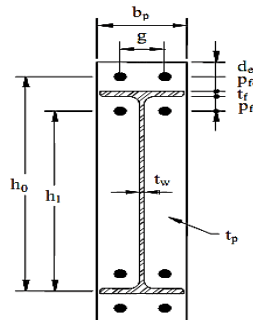
شکل ۷- تشکیل مفصل پلاستیک در نمونه تحلیلی و آزمایش سامنر [۱۷]

#### ۴- ارزیابی رفتار لرزه‌ای اتصالات پیشنهادی

##### ۴-۱- مقایسه اتصالات پیشنهادی با اتصال ورق انتهایی

برای ارزیابی پارامترهای رفتار لرزه‌ای اتصالات پیشنهادی، نمونه‌ی اتصال صحت سنجی شده در بخش قبل را ملاک قرار داده و اتصالات پیشنهادی را برای تیر و ستون آن طراحی و آنالیز برای آنها انجام می‌شود. برای این منظور تیر، ستون، ورق انتهایی و پیچ‌ها مشابه بخش قبل خواهد

نتیجه مدل سازی و صحت نتایج استخراج شده در این تحقیق در مقایسه با نتایج نمونه آزمایشگاهی شرح داده شده حاصل می‌شود. نمودار هیسترسیس دوران در مقابل لنگر رسم و با نمونه آزمایشگاهی مقایسه شد. در این نمودار دوران از تقسیم جابه‌جایی اعمال در انتهای تیر بر فاصله انتهای آزاد تیر تا مرکز ستون بدست می‌آید. لنگر نیز حاصل ضرب برش اعمال در انتهای تیر در فاصله آن تا مرکز ستون می‌باشد. نمودار لنگر-دوران در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل ۵- جزئیات اتصال ورق\_انتهایی

جدول ۲- جزئیات اتصال ورق انتهایی آزمایش سامنر [۱۷]

پارامتر	ابعاد (میلیمتر)
$t_p$	۳۹
$b_p$	۲۵۴
$L_{pl}$	۸۵۷
$G$	۱۵۲
$P_f$	۴۳,۴
$p_t$	۷۱,۴
$g$	۱۵۱,۴
$p_f$	۵۳,۲
$p_t$	۶۳

بود. همچنین برای استاب از مقطع آماده استفاده شده است. که این امر اجرای اتصال را بسیار آسان کند و جوشکاری ورق‌های جان به بال‌های استاب حذف می‌گردد و تنها جوشکاری محدود به ورق‌های پیوستگی استاب به مقطع آماده می‌شود. برای انتخاب مقطع آماده استاب باید به چند نکته توجه داشت: اول اینکه عرض بال مقطع آماده باید بین عرض بال تیر و بال ستون باشد. دوم اینکه ضخامت بال و جان مقطع آماده باید نزدیک به ضخامت بال و جان تیر باشد تا تحمل نیروی برشی و خمشی منتقله از تیر را دارا باشد. براین اساس مقطع W10x68 برای استاب انتخاب و باتوجه به ضخامت بال تیر از ورق پیوستگی با ضخامت ۱۱ میلیمتر برای تقویت آن استفاده شد. آرایش پیچ‌ها مشابه جدول (۲) در نظر گرفته شده است. همچنین شرایط هندسی مشابه نمونه آزمایشگاهی است. مصالح استاب، مشابه تیر و مصالح ورق پیوستگی استاب، مشابه ورق پیوستگی ستون در نظر گرفته شده است. برای هر چهار هندسه‌ی اتصال پیشنهادی تحت بارگذاری چرخه‌ای تحلیل اجزاء محدودی انجام و نمودار لنگر-دوران همچنین نمودار پشت‌واره<sup>۸</sup> و نمودار دو خطی معادل<sup>۹</sup> برای آن‌ها رسم و در شکل (۸) نشان داده شده است و نتایج مقایسه آنها در جدول (۳) آورده گردیده است. دوران از تقسیم جابه‌جایی انتهایی آزاد ستون بر فاصله نوک ستون تا تکیه‌گاه بدست می‌آید. لنگر نیز حاصل ضرب نیروی متناظر با جابجایی در فاصله آن تا تکیه‌گاه ستون می‌باشد. پارامترهای  $M_y$  لنگر تسلیم  $\theta_y$  دیررفت تسلیم، از نمودار دوخطی معادل منحنی لنگر-دوران استخراج و متناظر اولین نقطه‌ای است که اتصال وارد مرحله غیر خطی می‌شود.  $M_p$  لنگر

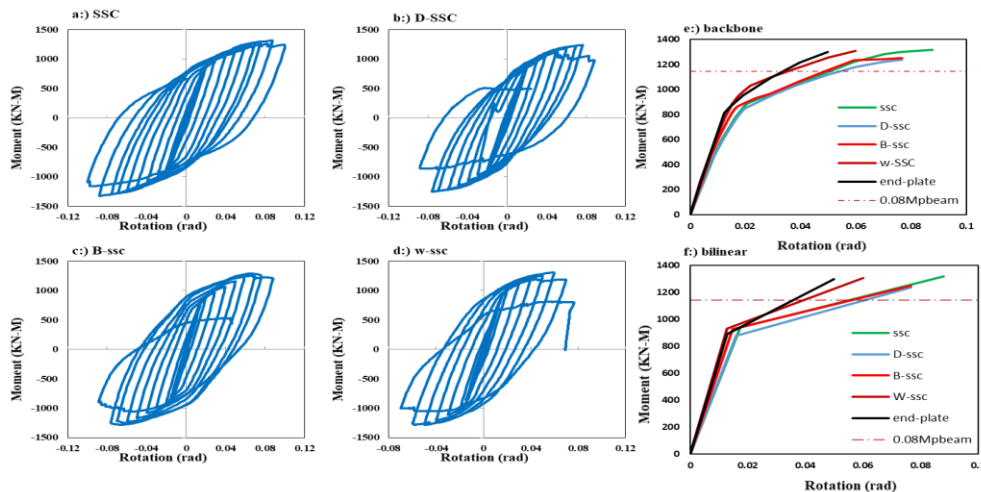
$$\mu_{max} = \frac{\theta_{max}}{\theta_y} \quad (1)$$

$$\mu_u = \frac{\theta_u}{\theta_y} \quad (2)$$

براساس الزامات AISC [۱۸]، اتصالات تیر به ستون که در سیستم‌های قاب خمشی ویژه مورد استفاده قرار می‌گیرند باید بتوانند زاویه دیررفت حداقل ۰٫۰۴ رادیان را تحمل کنند و مقاومت خمشی اندازه‌گیری شده اتصال در این زاویه باید معادل حداقل ۸۰٪ لنگر پلاستیک تیر متصل شده به آن باشد. لنگر پلاستیک تیر بصورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$M_{pb} = 1.1R_y F_y Z_b \quad (3)$$

در این فرمول  $R_y$  برای محاسبه تفاوت بین حداقل تنش تسلیم مشخص شده  $F_y$  و تنش تسلیم مورد انتظار است و برابر متوسط تنش تسلیم و تنش نهایی در نظر گرفته می‌شود، و همچنین  $Z_b$  مدول پلاستیک تیر در منطقه مفصل پلاستیک است.



شکل ۸- نمودار تحلیل اجزاء محدودی استفاده از مقطع W10x68 به عنوان استاب

<sup>9</sup> bilinear

<sup>8</sup> backbone

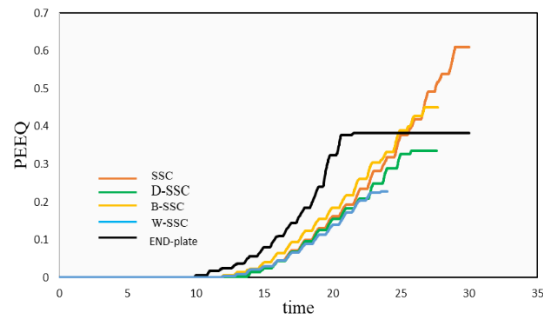


۴-۲ اثر اتصالات پیشنهادی بر کرنش پلاستیک معادل

یکی از اهداف اساسی اتصالات پیشنهادی کاهش تغییر شکل‌های غیر الاستیک در ستون است. کرنش پلاستیک معادل به عنوان دومین تغییر ناپذیر تانسور کرنش پلاستیک به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$PEEQ = \sqrt{\frac{2}{3} \varepsilon_{ij}^p \varepsilon_{ij}^p} \quad (4)$$

که در آن  $\varepsilon_{ij}^p$  مولفه‌های کرنش پلاستیک می‌باشند. این شاخص به عنوان ابزاری برای اندازه‌گیری شکل‌پذیری در سطح موضعی به کار می‌رود. در این مطالعه چشمه اتصال به سطح مابین دو ورق پیوستگی در جان ستون اطلاق می‌شود. برای ارزیابی شاخص PEEQ نمودار ماکزیم مقدار این شاخص، برای نقاط واقع در سطح چشمه اتصال رسم و مقایسه شد. این نمودارها در شکل (۹) نشان داده شد است.



شکل ۹- نمودار PEEQ چشمه اتصال ستون در استفاده از مقطع W10x68

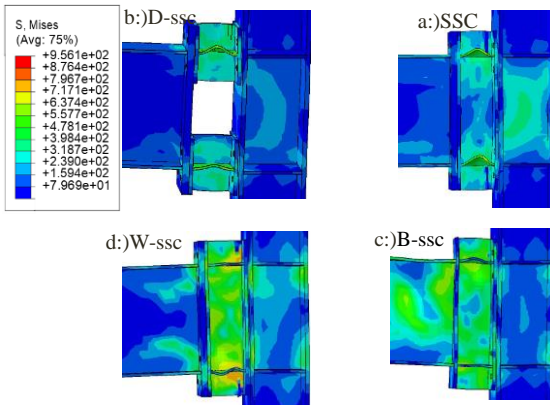
جدول ۳- نتایج استفاده از مقطع W10x68 به عنوان استاب

متغیر	end-plate	SSC	D-SSC	B-SSC	W-SSC
$\theta_y$	۱,۳	۲	۱,۶	۲	۱,۳
$\theta_{max}$	۵	۹	۷,۷	۸	۶
$M_y$	۸۹۲	۹۴۱	۸۸۰	۹۲۸	۹۳۱
$M_{max}$	۱۳۱۹	۱۳۱۹	۱۲۳۹	۱۲۵۱	۱۳۰۷
$M_{0.04rad}$	۱۰۵۲	۱۰۵۲	۱۰۳۲	۱۰۶۵	۱۱۷۶
$\mu_{max}$	۳,۹	۵	۴,۸	۵,۲	۴,۷
$M_{0.04rad}/0.8M_{pbeam}$	۰,۹۲	۰,۹۲	۰,۹	۰,۹۳	۱,۰۳

۴-۳- بررسی نتایج

همانگونه که از نتایج مشاهده می‌شود استفاده از استاب ستون کوتاه در ترکیب با ورق انتهایی باعث افزایش قابل توجه  $\theta_u$ ،  $\theta_y$  می‌شود در نتیجه

شکل‌پذیری به طور متوسط ۳۰٪ درصد افزایش می‌یابد. که این امر نشان دهنده رفتار لرزه‌ای بهتر در مقایسه با اتصال ورق انتهایی است. لنگر خمشی ماکزیم در اتصالات پیشنهادی کاهش چشمگیری را نشان نمی‌دهد. همچنین مقاومت خمشی در دیررفت ۴ درصد، به غیر از اتصال W-SSC که افزایش ۱۲ درصدی را از خود بروز می‌دهد، تقریباً برابر با اتصال ورق انتهایی است. در اتصال ورق انتهایی چشمه اتصال تقریباً به طور کامل پلاستیک می‌شود اما استاب با رفتار فیوز مانند باعث جذب انرژی و کاهش قابل توجه تنش و کرنش پلاستیک در چشمه اتصال ستون می‌شود. همچنین تنش در تیر و ستون تقریباً در محدوده تنش تسلیم باقی می‌ماند. مفصل پلاستیک در اتصالات پیشنهادی در استاب تشکیل می‌شود. همانگونه که از نمودارها مشاهده می‌شود کرنش معادل پلاستیک در چشمه اتصال ستون در اتصال ورق انتهایی تا دیررفت ۱,۵ درصد (سیکل=۹,۸) صفر می‌باشد که به معنی عدم وقوع تسلیم می‌باشد. اما در اتصالات پیشنهادی تسلیم چشمه اتصال از دیررفت ۲درصد(سیکل=۱۲) شروع می‌شود و در دیررفت ۵ درصد(سیکل=۱۸) کاهش حدود ۳۰ درصدی را نشان می‌دهد. تغییر شکل اتصالات پیشنهادی در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

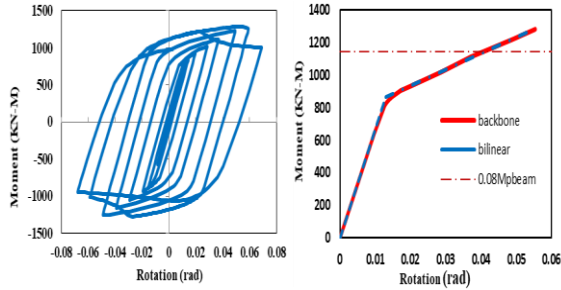


شکل ۱۰- کانتور تنش استفاده از مقطع W10x68 به عنوان استاب

۴-۳- بررسی اتصالات پیشنهادی به عنوان اتصال درختی

اتصالات خمشی دارای سیستم تیر کوتاه (ستون درختی) یکی از انواع سیستم‌های خمشی است که در سازه‌های فولادی مورد استفاده قرار گرفته است. در این اتصال تیر کوتاه در کارخانه به ستون جوش و تیر اصلی در محل به تیر کوتاه متصل می‌شود. به همین دلیل کیفیت اجرا این اتصال نسبت به سایر اتصالات خمشی بیشتر است و سبب دور شدن مفصل پلاستیک تیر از بر ستون می‌شود. برای اتصال تیر اصلی به تیر

به تیر اصلی، سبب افزایش فوق العاده دیررفت تسلیم و دیررفت ماکزیم سیستم اتصال می شود بطوریکه دیررفت الاستیک در دو اتصال SSC و D-SSC حدود ۲ برابر و در اتصال B-SSC و W-SSC به ترتیب حدود



شکل ۱۳- نمودار نتایج تحلیل اتصال درختی همراه با ورق انتهایی

شکل ۱۳- نمودار نتایج تحلیل اتصال درختی همراه با ورق انتهایی، ۳۵ و ۵۶ درصد افزایش را نسبت به اتصال درختی همراه با ورق انتهایی، نشان می دهند. در دیررفت ماکزیم نیز دو اتصال SSC و D-SSC حدود ۶۰ درصد و اتصال B-SSC و W-SSC به ترتیب حدود ۳۸ و ۲۶ درصد افزایش نشان می دهند. که این امر نشان دهنده رفتار لرزه ایی بهتر در مقایسه با اتصال ورق انتهایی است. لنگر خمشی ماکزیم نیز در اتصال SSC و D-SSC حدود ۱۵ درصد و در دو اتصال B-SSC و W-SSC حدود ۵ درصد کاهش را نشان می دهد.

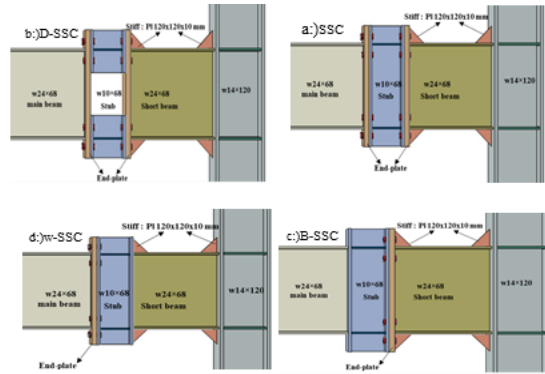
مد گسیختگی در همه نمونه ها (به غیر از اتصال W-SSC) در اثر خمش دو محوره بال های استاب بین دو ردیف و ستون پیچ ها و کمانش موضعی ورق های پیوستگی و جان استاب در قسمت خارج از ارتفاع تیر، می باشد. در اتصال W-SSC تا دیررفت ۷ درصد رفتاری مشابه به سایر نمونه ها دارد اما با افزایش دیررفت بال های تیر کوتاه دچار کمانش موضعی شده و مفصل پلاستیک در این ناحیه تشکیل می شود. و رفتاری شبیه اتصال ورق انتهایی خواهد داشت. همچنین مقاومت خمشی همه نمونه ها در دیررفت ۴ درصد کمتر از ۸۰ درصد لنگر پلاستیک تیر می باشد که این امر نشان می دهد اتصالات پیشنهادی در قالب اتصال درختی در دسته

جدول ۴- نتایج حاصل از اتصال درختی همراه با استاب

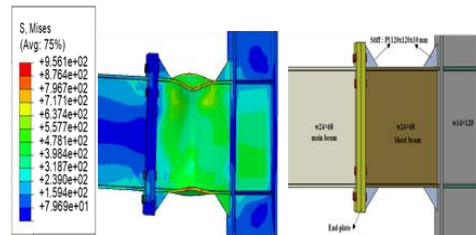
متغیر	end-plate	SSC	D-SSC	B-SSC	W-SSC
$\theta_y(\%)$	۱.۳	۲.۸	۲.۶	۱.۸	۲
$\theta_{max}(\%)$	۵.۵	۸.۸	۸.۸	۷.۶	۷
$M_y$	۸۶۴	۸۶۶	۷۱۷	۷۷۶	۸۲۸
$M_{max}$	۱۲۸۳	۱۱۳۵	۱۰۷۵	۱۲۴۳	۱۲۳۰
$M_{0.04rad}$	۱۱۴۰	۹۰۰	۸۹۱	۹۶۵	۹۸۰
$\mu_{max}$	۴.۲	۳.۱	۳.۵	۴.۳	۳.۵
$M_{0.04rad}/0.8M_{pbeam}$	۰.۹۹	۰.۷۸	۰.۷۷	۰.۸۴	۰.۸۵

کوتاه می توان از اتصال استاب ستون کوتاه استفاده کرد. برای این منظور برای سیستم بخش (۳) یک تیر کوتاه به طول ۶۵۰ میلیمتر در نظر گرفته و سپس به تیر کوتاه و تیر اصلی یک ورق با مشخصات جدول (۲) جوش داده می شود و در بین آنها استاب با مقطع W10x68 و با هندسه و مشخصات بخش (۴) قرار می گیرد. برای اتصال B-SSC ورق به تیر کوتاه و استاب به تیر اصلی، برای اتصال W-SSC استاب به تیر کوتاه و ورق به تیر اصلی، جوش شده سپس بوسیله پیچ به هم متصل خواهند شد. همچنین هندسه اتصالات درختی همراه با استاب در شکل (۱۱) نشان داده شد.

برای مقایسه اتصالات پیشنهادی، ابتدا اتصال درختی با ورق انتهایی مورد تحلیل قرار می گیرد. همانگونه که از نتایج مشاهده می شود شکل (۱۲) و (۱۳) این اتصال بصورت صلب عمل کرده و مفصل پلاستیک در تیر کوتاه تشکیل می شود. در مقایسه با اتصال ورق انتهایی بخش (۳)، مقاومت خمشی آن تنها ۳ درصد کمتر است، اما دیررفت ماکزیم آن ۵/ درصد افزایش را نشان می دهد. مقدار کرنش پلاستیک در چمشه اتصال نیز تغییر محسوسی را نشان نمی دهد.

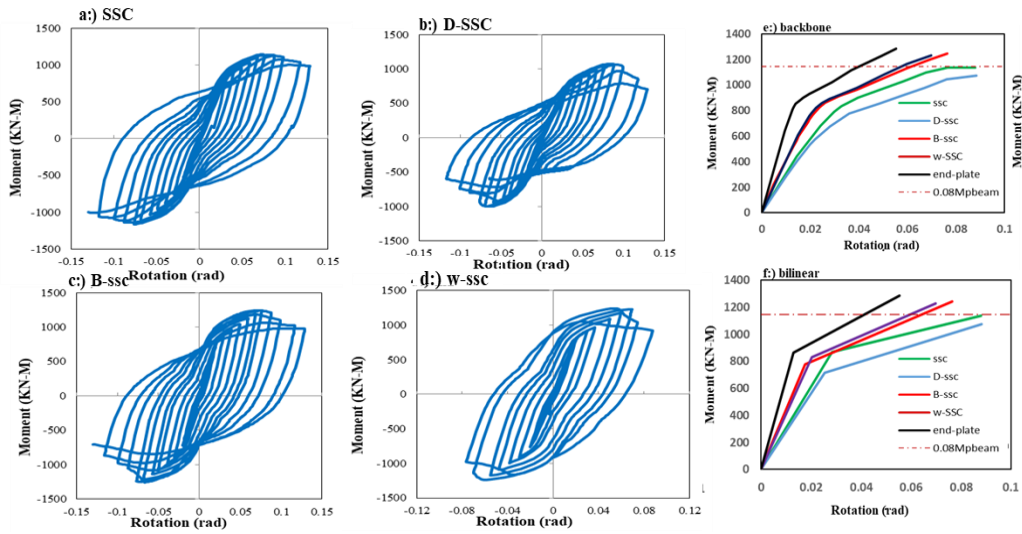


شکل ۱۱- هندسه اتصال درختی همراه با استاب



شکل ۱۲- اتصال درختی همراه با ورق-انتهایی

همانگونه که از نتایج مشاهده می شود شکل (۱۴) و جدول (۴) ترکیب اتصال درختی و استفاده استاب ستون کوتاه، جهت متصل کردن تیر کوتاه

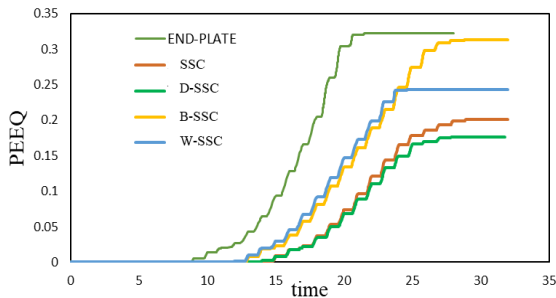


شکل ۱۴- نمودار تحلیل اجزاء محدودی اتصالات درختی همراه با استاب

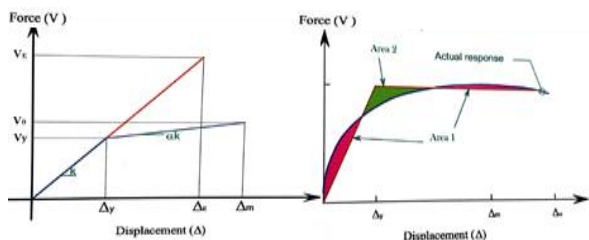
اتصال نیمه صلب قرار می‌گیرند. همانگونه که در شکل (۱۵) مشاهده می‌شود سه رفتار متمایز در نمودار ماکزیمم کرنش پلاستیک معادل در چشمه اتصال ستون برای اتصالات پیشنهادی در قالب اتصال درختی رخ خواهد داد. در اتصال درختی ورق انتهایی، چشمه اتصال تقریباً به طور کامل پلاستیک می‌شود هر چند که مقدار PEEQ حدود ۱۸ درصد کمتر از اتصال ورق انتهایی معمول می‌باشد. در دو اتصال SSC، D-SSC استاب با رفتار فیوز مانند سبب کاهش قابل توجه تنش و کرنش پلاستیک در چشمه اتصال ستون می‌شود بطوریکه در دیررفت ۶ درصد (سیکل ۲۰) مقدار PEEQ حدود ۷۵ درصد کاهش را نشان می‌دهد. دو اتصال B-SSC و W-SSC نیز با پلاستیک شدن توأم استاب و تیر کوتاه سبب کاهش مقدار PEEQ در حدود ۵۰ درصد (در دیررفت ۶ درصد) خواهند شد. شروع تسلیم چشمه اتصال ستون در اتصال با ورق انتهایی از دیررفت ۱ درصد، اتصال W-SSC از دیررفت ۲ درصد و در سایر نمونه‌ها از دیررفت ۳ درصد می‌باشد. تغییر شکل اتصالات پیشنهادی در شکل (۱۶) نشان داده شده است.

#### ۵- محاسبه ضریب رفتار در اتصالات پیشنهادی

یکی از مزایای اتصالات پیشنهادی افزایش ضریب شکلپذیری می‌باشد همچنین افزایش ضریب شکلپذیری می‌تواند منجر به افزایش ضریب رفتار سازه شود. طبق تحقیقات انجام شده ضریب رفتار برای سازه یک درجه آزادی طبق رابطه ۵ محاسبه می‌شود. [۱۹]



شکل ۱۵- نمودار PEEQ چشمه اتصال ستون در اتصال درختی همراه استاب



شکل ۱۷- نمودار دو خطی نیرو-تغییر مکان برای سیستم یک درجه آزادی

$$R_{\mu} = \frac{V_E}{V_y} = \frac{\Delta_E}{\Delta_y} \quad (۴)$$

$$R_S = \frac{V_y}{V_s} \quad (۷)$$

ضریب رفتار برای اتصالات پیشنهادی بخش ۴-۱ در جدول (۵) و برای بخش ۴-۳ در جدول (۶) آورده شده است.

همانگونه که از نتایج مشاهده می‌شود (جدول ۵) در استفاده از مقطع W10x68 به عنوان استاب (به غیر از اتصال W-SSC) در مقایسه با اتصال ورق-انتهایی، بر خلاف افزایش چشمگیر ضریب شکل‌پذیری، ضریب رفتار تغییر چندانی نخواهد داشت که علت آن تشکیل مفصل پلاستیک در نزدیکی بر ستون می‌باشد. در خصوص اتصال W-SSC به علت سختی زیادتر این اتصال به علت جوشکاری بال استاب به بال ستون مفصل پلاستیک هم‌زمان در استاب و تیر تشکیل می‌شود و در نتیجه سبب افزایش ۱۶ درصدی ضریب رفتار در این اتصال خواهد شد.

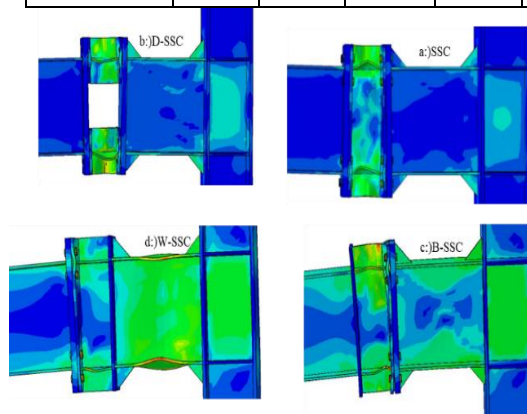
در اتصال درختی با استفاده از ورق‌انتهایی، به علت اینکه مفصل پلاستیک در قسمت تیر کوتاه تشکیل می‌شود، بر خلاف انتظار ضریب رفتار با کاهش چشمگیری مواجه خواهد شد. اما در خصوص اتصال درختی همراه با استاب (به غیر از اتصال W-SSC) نتیجه متفاوت خواهد بود. به علت اینکه مفصل پلاستیک در استاب و در فاصله‌ای حداقل برابر با تیر کوتاه تشکیل می‌شود سبب افزایش ضریب رفتار بطور نسبی خواهد شد. اما در خصوص اتصال W-SSC، استاب و تیر کوتاه هم‌زمان پلاستیک شده و سبب کاهش ضریب رفتار می‌شود.

جدول ۵- ضریب رفتار استفاده از مقطع W10x68 به عنوان استاب

متغییر	end-plate	SSC	D-SSC	B-SSC	W-SSC
$R_S$	۳,۴	۲,۵	۳	۲,۷	۳,۶
$R_{\mu}$	۲,۸	۳,۳	۳,۲	۳,۳	۳,۱
R	۹,۷	۸,۳	۹,۶	۸,۹	۱۱,۳

جدول ۶- ضریب رفتار اتصال درختی همراه با استاب

متغییر	end-plate	SSC	D-SSC	B-SSC	W-SSC
$R_S$	۱,۳۵	۲,۵۸	۳,۸۸	۵,۶۶	۲,۰۳
$R_{\mu}$	۳,۰۱	۲,۴۱	۲,۶۷	۳,۱۱	۲,۶۵
R	۴,۰۷	۶,۲۴	۱۰,۳۸	۱۷,۶۴	۵,۳۷

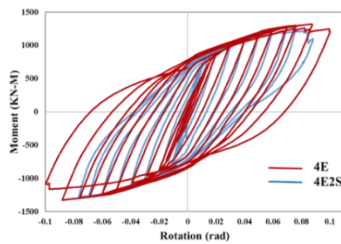


شکل ۱۶- کانتور تنش اتصال درختی همراه با استاب در انتهای بارگذاری

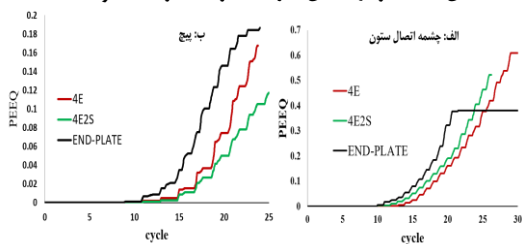
$$R = R_S R_{\mu} R_R R_{\xi} \quad (۵)$$

در رابطه فوق  $R_S$  ضریب اضافه مقاومت،  $R_{\mu}$  ضریب ناشی از شکل‌پذیری،  $R_R$  ضریب نامعینی و  $R_{\xi}$  ضریب میرایی می‌باشد. ضریب نامعینی و ضریب میرایی در اکثر موارد واحد فرض می‌شود. پس از تحلیل غیرخطی و رسم نمودار هیستریزس نیرو-تغییر مکان، نمودار پوش آور را استخراج و سپس آن را دو خطی کرده و با روش [۲۰] Chopra ضریب رفتار آن را بدست می‌آوریم. طبق روش چوپرا باید مساحت سطح زیر نمودار دو خطی با سطح زیر نمودار منحنی الاستیک برابر باشد که از آن ضریب ناشی از شکل‌پذیری و در نهایت ضریب رفتار بدست می‌آید.

چشمه اتصال ستون اندکی افزایش را نسبت به آرایش پیچ 4E نشان می‌دهد که علت آن انتقال بخشی از نیروی کششی حاصل از لنگر خمشی تیر به میانه استاب است و چون در این ناحیه ورق پیوستگی برای تحمل این نیرو تعبیه نشده، لذا سبب افزایش کرنش پلاستیک خواهد شد. ماکزیمم کرنش پلاستیک در پیچ‌ها در آرایش پیچ 4E2S اندکی کاهش می‌یابد که علت آن کاهش تنش برشی و کششی در پیچ‌ها به علت افزایش تعداد آن‌ها می‌باشد.



شکل ۲۰- نمودار تحلیل اجزاء محدودی نمونه 4E و 4E2S



شکل ۲۱- نمودار PEEQ الف: چشمه اتصال ستون، ب: پیچ در مقایسه با اتصال ورق انتهایی

#### ۷- تاثیر اتصالات پیشنهادی در زمان تناوب

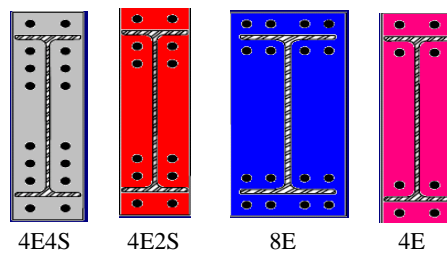
پارامتر زمان تناوب یکی از مهمترین ویژگی‌های دینامیکی سازه محسوب می‌شود که در برآورد نیروی زلزله وارد بر آن نقش اساسی دارد. به طور کلی اگر سازه را با جرم متمرکز  $m$  و سختی  $k$  مدل‌سازی کنیم، زمان تناوب تحلیلی نوسان سازه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (8)$$

در رابطه فوق  $k$  سختی سازه می‌باشد که در صورت خطی بودن رفتار می‌توان از قانون هوک استفاده کرد و  $k$  را برحسب تغییر مکان ( $\Delta$ ) به دست آورد:

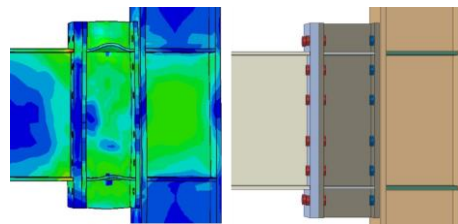
#### ۶- بررسی افزایش تعداد پیچ‌ها در استاب

در اتصالات پیچی تعداد و آرایش پیچ‌ها نقش تعیین کننده در رفتار اتصال خواهند داشت. چند نمونه از آرایش پیچ‌ها در شکل (۱۸) نشان داده شده است. در تعیین آرایش پیچ‌ها حداقل فاصله بین مرکز به مرکز پیچ و فاصله مرکز پیچ تا لبه ورق تعیین کننده خواهد بود. لذا با توجه به ابعاد استاب بکاربرده شده (مقطع W10x68) استفاده از آرایش پیچ 4E و 4E2S امکانپذیر می‌باشد. در بخش ۴ نمونه‌ها براساس آرایش 4E مدل‌سازی شدند، لذا در این بخش نمونه SSC با آرایش پیچ 4E2S مجدداً مدل‌سازی (شکل (۱۹)) و نتایج آن با مدل 4E مقایسه می‌شود.



شکل ۱۸- انواع آرایش پیچ در اتصال بال استاب به بال ستون

همانگونه که در شکل (۲۰) مشاهده می‌شود نمودار چرخه‌ای لنگر-دوران کاهش یک چرخه بارگذاری در آرایش پیچ 4E2S را نشان می‌دهد که علت آن افزایش سختی اتصال و جلوگیری از تغییر شکل بال استاب در فاصله بین دو بال تیر می‌باشد.



شکل ۱۹- پیکربندی اتصال SSC با آرایش پیچ 4E2S

همچنین در سایر چرخه‌های بارگذاری دو نمودار تقریباً "بر هم منطبق می‌باشند که علت آن تحمل نیرو توسط جان و بال استاب در امتداد بال‌های تیر می‌باشد. همچنین نمودار PEEQ برای چشمه اتصال ستون و برای پیچ‌های خارج از ارتفاع تیر رسم گردید شکل (۲۱). همانگونه که مشاهده می‌شود در آرایش پیچ 4E2S ماکزیمم کرنش پلاستیک در

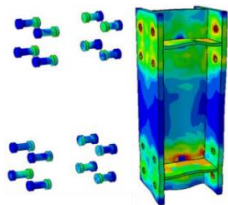
همچنین منحنی‌های هیستریزس نشان می‌دهد اتصالات همراه استاب دارای چرخه‌های بارگذاری بیشتری را تحمل می‌کند در نتیجه قابلیت اطمینان و پایداری آن‌ها نسبت به اتصال ورق‌انتهایی افزایش می‌یابد.

### ۹- معایب اتصالات پیشنهادی

از معایب اتصالات پیشنهادی می‌توان به هزینه ساخت و اجرای آن‌ها به علت کاربرد مصالح بیشتر، و افزایش طول جوشکاری نسبت به اتصالات معمول اشاره کرد. همچنین دواتصال SSC و D-SSC به علت وجود ورق انتهایی متصل به تیر بعد از بارگذاری قابل تعویض خواهد بود، اما دو اتصال B-SSC و W-SSC بعد از بارگذاری و در صورتی که مفصل پلاستیک در استاب تشکیل شود قابل تعویض نبوده و سازه توانایی ادامه بهره‌برداری را نخواهد داشت. همچنین در نمودارهای بارگذاری اندکی تنگ‌شدگی مشاهده می‌شود که منجر به کاهش استهلاک انرژی در چرخه‌های برابر نسبت به اتصال ورق‌انتهایی خواهد شد.

### ۱۰- رفتار پیچ‌ها در اتصالات پیشنهادی

بطور کلی رفتار پیچ‌ها در اتصالات پیشنهادی مشابه با رفتاری پیچ در اتصال ورق‌انتهایی می‌باشد. از آنجایی که پیچ‌ها از نوع پرمقاومت می‌باشند بنابراین نقطه تسلیم مشخصی برای آنها وجود ندارد. بنابراین اعمال نیروی پیش‌تیدگی پیش از مقدار مشخص شده در آیین‌نامه موجب گسیختگی در بارگذاری دینامیکی خواهد شد. در اتصالات پیشنهادی به علت طراحی بال‌های استاب با ضخامت متوسط [۱۷] نیروی اهرمی پیچ، نقش اصلی را در انتقال نیروی دینامیکی به بال‌های استاب برعهده خواهد داشت و از تمرکز تنش در پیچ‌ها جلوگیری می‌کند. نمودار ماکزیم کرنش پلاستیک معادل شکل (۲۱) در پیچ‌ها نشان دهنده کاهش این شاخص نسبت به اتصال ورق‌انتهایی است. بنابراین همانگونه که کانتورهای تنش شکل (۲۳) نشان می‌دهد بیشترین تمرکز تنش ایجاد شده در محل اتصال ورق‌های پیوستگی به جان استاب می‌باشد که در صورت عدم جوشکاری مناسب در این محل، موجب گسیختگی و انهدام اتصال می‌شود.



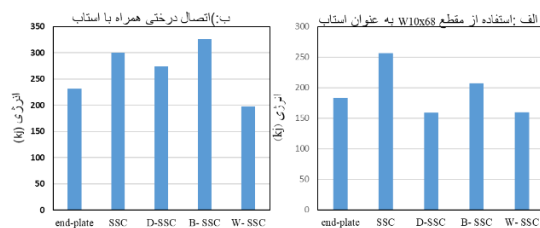
شکل ۲۳- کانتور تنش در استاب

$$F = k \cdot \Delta \rightarrow k = \frac{F}{\Delta} \quad (9)$$

با توجه به رابطه فوق می‌توان گفت که با کاهش سختی، زمان تناوب سازه افزایش می‌یابد. بنابراین با توجه به نمودارهای دو خطی معادل ترسیم شده در شکل (۸) و شکل (۱۴) برای همه نمونه‌های اتصال با استاب در یک جایجایی (دیربفت) برابر، نیروی (لنگر) کمتری نسبت به اتصال ورق‌انتهایی بدست می‌آید، که بیان‌گر این نکته است که تمامی مدل‌های پیشنهادی دارای سختی کمتر و در نتیجه زمان تناوب بیشتر و نسبت به اتصال ورق‌انتهایی می‌باشند.

### ۸- تاثیر اتصالات پیشنهادی در استهلاک انرژی

براساس تجربه‌های حاصل از زلزله‌های گذشته و مطالعات انجام گرفته، سازه‌هایی در برابر زلزله دارای عملکرد بهتری هستند که بتوانند ضمن حفظ پایداری و انسجام کلی خود انرژی ناشی از زلزله را تا حد امکان جذب و مستهلک نمایند. با توجه به منحنی نیرو-تغییر مکان سازه‌ها و توجه به این مطلب که سطح زیر منحنی نیرو-تغییر مکان نشان دهنده میزان انرژی جذب شده توسط سازه است، هر چه سازه شکل پذیرتر باشد، انرژی بیشتری را هنگام زلزله جذب کرده و رفتار مطلوب‌تری دارد. همچنین تعداد سیکل‌هایی هم که یک المان می‌تواند تا قبل از گسیختگی تحمل نماید نشان دهنده قابلیت اطمینان و پایداری عضو می‌باشد. بنابراین برای محاسبه انرژی استهلاک یافته ابتدا منحنی‌های نیرو-تغییر مکان را برحسب کیلونیوتن-میلیمتر رسم کرده و سطح زیر نمودار هیستریزس برحسب کیلو ژول را محاسبه می‌کنیم. نتایج بصورت نمودار میله‌ای در شکل (۲۲) نشان داده شده است.



شکل ۲۲- نمودار استهلاک انرژی اتصالات پیشنهادی

همانگونه که از نتایج مشاهده می‌شود استهلاک انرژی بطور کلی در اتصال درختی بیشتر می‌باشد که علت آن دور شدن مفصل پلاستیک از بر ستون خواهد بود. دو مدل SSC و B-SSC بیشترین و مدل W-SSC کمترین استهلاک انرژی را نسبت به اتصال ورق‌انتهایی دارا می‌باشند.

## ۱۱- نتیجه گیری

- ۱- اتصال پیشنهادی یک اتصال خمشی با قابلیت طراحی رفتار نیمه صلب و صلب است که می‌توان در اتصال تیر به ستون، با مکانیزم انتقال بار متفاوت از اتصالات مرسوم بکار رود.
- ۲- کاهش مقاومت نمونه‌ها ناشی از کمانش موضعی در طی بارگذاری می‌باشد و هیچ گونه گسیختگی کلی در نمونه‌ها دیده نمی‌شود.
- ۳- مطالعات اجزاء محدودی نشان می‌دهد که اتصالات پیشنهادی، دارای شکلپذیری فوق‌العاده‌ای می‌باشد. ناحیه‌ی استاب، با عملکرد پلاستیک خود، انرژی به مراتب بیشتری، نسبت به مفصل در تیر جذب کرده و یک مفصل محدود کنترل شده، با شکلپذیری فوق‌العاده را بوجود می‌آورد که به افزایش پیروی و ضریب رفتار سازه منجر می‌شود.
- ۴- نسبت به اتصالات خمشی متداول، ظرفیت چرخش پلاستیک، میتواند تا چند برابر، افزایش یابد.
- ۵- به علت مکانیسم انتقال نیرو از ورق انتهایی به استاب و همچنین استفاده از مقاطع آماده به عنوان استاب شکست ناشی از حساسیت جوشکاری و تمرکز تنش ناشی از تغییر ناگهانی هندسه، می‌تواند به حداقل برسد و نیز، ظرفیت اتلاف انرژی بهبود می‌یابد.
- ۶- تسلیم به هنگام استاب سبب رفتار فیوزی مورد نظر و عدم آسیب به تیر و ستون می‌شود، تنش و کرنش پلاستیک را به طور قابل ملاحظه ایی در چشمه اتصال کاهش و سبب قابل اطمینانتر شدن اتلاف انرژی می‌شود.

## ۱۲- تقدیر و تشکر

این تحقیق با همکاری شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب انجام شده است.

## ۱۳- مراجع

- [1]Moghadam A, Estekanchi H, Yekrangnia M. Evaluation of PR steel frame connection with torsional plate and its optimal placement. *Scientia Iranica*. 2018;25(3):1025-38.
- [2]Alhendi H, Celikag M. Finite element prediction of reverse channel connections to tubular columns behavior. *Engineering Structures*. 2015;100:599-609.
- [3]FEMA-355D. State of the art report on connection performance. Washington (DC): Federal Emergency Management Agency; 2000.
- [4]Mirghaderi S, Torabian S, Keshavarzi F. I-beam to box-column connection by a vertical plate passing through the column. *Engineering Structures*. 2010;32(8):2034-48.
- [5]Miller D. Lessons learned from the Northridge earthquake. *Engineering structures*. 1998;20(4-6):249-60.
- [6]Tremblay R, Filiatrault A, Timler P, Bruneau M. Performance of steel structures during the 1994 Northridge earthquake. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 1995;22(2):338-60.
- [7]Tremblay R, Filiatrault A, Bruneau M, Nakashima M, Prion H, DeVall R. Seismic design of steel buildings: lessons from the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 1996;23(3):727-56.
- [8] Yiyi C, Xiuzhang H, Ke K. Characteristics and technical issues on structural systems with replaceable damage-concentrated elements. *Journal of Building Structures*. 2016;37(2):1-0.
- [9]Garooosi A, TahamouliRoudsari M, Hashemi B. Experimental evaluation of rigid connection with reduced section and replaceable fuse. *InStructures*. 2018;16: 390-404.
- [10]Behrooz S, Erfani S. Parametric study of Stub-Beam Bolted Extended End-Plate connection to box-columns. *Journal of Constructional Steel Research*. 2020;171:106155.
- [11]Shen Y, Christopoulos C, Mansour N, Tremblay R. Seismic design and performance of steel moment-resisting frames with nonlinear replaceable links. *Journal of Structural Engineering-Reston*. 2011;137(10):1107.
- [12]Li X. Moment-rotation behaviour of universal beam to tubular column connections using reverse channel. *The University of Manchester (United Kingdom)*; 2012.
- [13]Yılmaz O, Bekiroğlu S. Performance Evaluation of Weak-Axis Steel Moment Connections. *InXVI International Scientific Conference VSU 2016*.
- [14]Hu G, Huang W, Xie H. Mechanical behavior of a replaceable energy dissipation device for precast concrete beam-column connections. *Journal of Constructional Steel Research*. 2020;164:105816.
- [15]Peng H, Ou J, Mahin S. Design and numerical analysis of a damage-controllable mechanical hinge beam-to-column connection. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2020;133:106149.
- [16]Venture S. SAC. Protocol for Fabrication, Inspection, Testing and Documentation of Beam-Column Connection Test and Other Experimental

Specimens. SAC Rep. SAC/BD-97/02, Sacramento, California; 1997.

[17] Sumner E, Murray T. Behavior of extended endplate moment connections subject to cyclic loading. Journal of Structural Engineering. 2002;128(4):501-8.

[18] AISC/ANSI 341-10, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago (IL), 2010.

[19] Rojahn C, Whittaker A, Hart G, Bertero V. Structural response modification factors. The Council; 1995.

[20] Chopra A, Chintanapakdee C. Inelastic deformation ratios for design and evaluation of structures: single-degree-of-freedom bilinear systems. Journal of structural engineering. 2004;130(9):1309-19.