

Experimental and Numerical Investigation of Local Buckling in Steel Reduced Beam Sections (RBSs)

Alireza Zaferani

PhD Candidate, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Pasha Javadi*

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Parham Memarzadeh

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
javadi@srbiau.ac.ir

Keywords:

**Reduced Section Beam,
Local Buckling,
Moment Resisting
Frame,
Plastic Hinge**

Abstract

The use of steel moment frame systems is very popular among designers, but the main weakness in these systems is the plastic joint formation in the beam-to-column connection zone. Therefore, the idea of using beams with a reduced section (RBS) is a good suggestion to remove the plastic joint from the beam-to-column connection zone. By using steel beams with a reduced cross-section, a ductile fuse is created in the beam, which prevents the transfer of inelastic stresses and strains to the beam-to-column joint (in the welding zone). One of the main problems in steel beams with a reduced cross-section is buckling in the reduced zone of the beam. As a result of this local buckling in the wing and the life of the beam in the reduced zone, the resistance of these beams decreases compared to ordinary beams. In this article, the behavior of IPE300 beam with a reduced cross-section has been tested under cycling loading. Also, finite element analysis has been done for steel beams with different cross-sections to determine how much drift will cause local buckling in beams with different reduced cross-sections. Local buckling in the reduced zone of steel beams usually occurs in sections with small dimensions in 3% drift. But for sections with larger beam dimensions, these bucklings are created in lower drifts. These bucklings first start from the reduced wing zone of RBS beams and extend to the beam.



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 کمانش محلی مقطع کاهش یافته (RBS) در تیرهای فولادی

علیرضا زعفرانی

دانشجوی دکتری مهندسی عمران-سازه، گروه سازه، زلزله و ژئوتکنیک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

پاشا جوادی*

استادیار، گروه سازه، زلزله و ژئوتکنیک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

پرهام معمارزاده

دانشیار، گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

Javadi@srbiau.ac.ir

تاریخ پذیرش: 12 مرداد 1403

تاریخ دریافت: 15 فروردین 1403

چکیده

استفاده از سیستم‌های قاب خمشی فولادی در بین طراحان بسیار رواج دارد، اما یک نقطه ضعف اصلی در این سیستم‌ها، محل تشکیل مفصل پلاستیک در ناحیه اتصال تیر به ستون می‌باشد. از این رو ایده استفاده از تیرها با مقطع کاهش یافته پیشنهاد مناسبی برای دور کردن محل تشکیل مفصل پلاستیک از ناحیه اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته تیر می‌باشد. با استفاده از تیرهای فولادی با مقطع کاهش یافته، یک فیوز شکل‌پذیر در تیر ایجاد می‌شود که مانع از انتقال تنش‌ها و کرنش‌های غیرارتجاعی به محل اتصال تیر به ستون (در ناحیه جوش) می‌شود. یکی از مشکلات اصلی در تیرهای فولادی با مقطع کاهش یافته، ایجاد کمانش‌های موضعی در ناحیه کاهش یافته تیر می‌باشد. به تبع این کمانش‌های موضعی در بال و جان تیر در ناحیه کاهش یافته، مقاومت این تیرها نسبت به تیرهای معمولی کاهش پیدا می‌کند. در این مقاله تحلیل اجزای محدود برای تیرهای فولادی با مقاطع مختلف انجام گرفته است تا مشخص گردد در تیرهای فولادی با مقاطع کاهش یافته مختلف درجه میزان دررفت، دچار کمانش موضعی می‌شوند. کمانش‌های محلی در ناحیه کاهش یافته تیرهای فولادی معمولاً در مقاطع با ابعاد کوچک در دررفت 3٪ ایجاد می‌شود. اما برای مقاطع با ابعاد بزرگتر این کمانش‌ها در دررفت‌های پایین‌تری ایجاد می‌شود. این کمانش‌ها ابتدا از ناحیه بال تیرهای کاهش یافته مقطع، آغاز و به جان تیر کشیده می‌شود.

کلید واژگان: تیر با مقطع کاهش یافته (RBS)، کمانش موضعی، قاب فولادی خمشی، مفصل پلاستیک

1- مقدمه

انگلهارت¹ و همکاران [1] کاهش مقطع بال تیر در نزدیکی اتصال تیر به ستون را روشی برای افزایش شکل‌پذیری اتصالات قاب خمشی معرفی نمودند. یوانگ و همکارانش [2]، در مطالعه‌ای رفتار اتصالات RBS² با دال بتنی و یک نمونه تیر معمولی با دال بتنی را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج آزمایشات صورت گرفته توسط آن‌ها نشان داد که ایجاد RBS در بال پایینی تیر به تنهایی نمی‌تواند از شکست جوش گوشه در بال بالایی تیر جلوگیری کند. همچنین آن‌ها نشان دادند وجود دال بتنی تنها کمی در بهبود رفتار چرخه‌ای اتصال اثر داشت. در نمونه‌های دارای دال بتنی شکست ترد رخ نداد و وجود دال کامپوزیت تنها 10 درصد در بهبود سختی چرخه‌ای نمونه تأثیر داشت. رودر³ در سال 2002 [3] در مطالعه‌ای رفتار تیر با مقطع کاهش یافته در بال را بررسی نمودند، نتایج این مطالعه نشان داد کاهش مقطع در بال تیر می‌تواند مانند پیوستگی عمل کند که مانع از تمرکز تنش و کرنش در ناحیه اتصال تیر به ستون شود. در این مطالعه نقطه ضعف اصلی اتصالات کاهش مقطع یافته در بال تیر را کماتش‌های خارج از صفحه در جان تیر، معرفی نمودند. لی⁴ و همکاران [4] در مطالعه‌ای رفتار اتصالات RBS را که به وسیله جوش به ستون متصل می‌شوند را با رفتار این تیرها که با پیچ به ستون متصل می‌شوند، مقایسه نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد اگر نمونه‌ها دارای چشمه اتصال قوی باشند قادر به ایجاد ظرفیت خمشی مناسب با توجه به الزامات قاب خمشی ویژه هستند. همچنین در این مطالعه با معرفی پارامتر ضریب برشی چشمه اتصال و پیشنهاد بازه 0.7 تا 0.9 برای مقدار آن به راه حل مناسبی جهت بهبود ظرفیت چرخش پلاستیک اتصال و نیز کاهش کماتش جانبی-پیچشی تیر در محل مفصل پلاستیک رسیدند. در مطالعه انجام شده توسط گرامی و غزنوی [5] به مقایسه میزان تغییر مکان جانبی قاب‌ها با اتصالات RBS در مقایسه با قاب‌های خمشی پرداخته شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که اثر اتصال RBS بر روی تغییر مکان جانبی نسبی طبقه بسیار ناچیز می‌باشد، نتایج این مطالعه نشان داد قاب‌های خمشی با تمرکز تنش و کرنش در ناحیه اتصال تیر به ستون دچار شکستگی ترد در این ناحیه

می‌شوند. دیلمی و مصلحی تیر [6] رفتار تیرهای RBS را با قاب‌های خمشی مقایسه نمودند، در این تحقیق مشکل تیرهای RBS را کماتش‌های موضعی در قسمت کاهش یافته و کماتش جانبی پیچشی تیر معرفی نمودند. در این تحقیق اتصالات RBS شکل‌پذیری و جذب انرژی مناسبی از خود نشان دادند و نیز نشان داده شد که استفاده از اتصالات RBS می‌تواند ظرفیت خمشی اتصال را تا 25 درصد نسبت به اتصالات متداول افزایش دهد. همچنین نشان دادند که اگر شکل‌پذیری چشمه اتصال به شکل مناسبی انتخاب شود می‌تواند ایرادات ناشی از کماتش موضعی را در اتصالات RBS کاهش دهد. تمام اتصالات RBS این تحقیق ظرفیت چرخشی بالای 3 درصد را از خود نشان دادند. کاسانجه⁵ [7] رفتار تیر RBS را در یک قاب SMRF بررسی نمود نتایج نشان داد که استفاده از تیرهای RBS باعث ایجاد کماتش پیچشی در تیر میشود، افزایش دررفت طبقات در قاب‌هایی که از ستون‌های کم عمق استفاده شده حساسیت بیشتری دارند، سختی تیرهای RBS بدون استفاده از مهار جانبی می‌تواند 67 درصد نسبت به تیرهای معمولی قاب خمشی باشد، تیر با کاهش مقطع در بال در معرض خمش حول محور ضعیف می‌باشند. بال‌های این تیرها که متصل به سقف می‌باشد، با کاهش سختی می‌تواند اثرات نامطلوبی در سقف‌ها ایجاد کند. نتایج این مطالعه استفاده از مهارهای جانبی در قاب‌های SMRF را الزامی معرفی می‌کند. کولکارنی و واسماوالا⁶ [8] مقایسه نمودن رفتار تیر RBS را با یک تیر معمولی، این مطالعه بصورت آزمایشگاهی و مدل‌سازی اجزای محدود انجام شده است. آن‌ها در این پژوهش پاسخ هیستریسیس نیرو به تغییر مکان اتصالات ناشی از بررسی آزمایشگاهی و تحلیل‌های اجزا محدود را با یکدیگر مورد مقایسه قرار داده‌اند. با افزایش تغییر مکان چرخه‌ای منحنی هیستریسیس هر دو نمونه شکل تقریباً یکسانی پیدا می‌کنند و شیب منحنی به صورت پیوسته کاهش می‌یابد تا اینکه به بارگذاری حد نهایی می‌رسد. مساحت حلقه‌های هیستریسیس به صورت تدریجی افزایش می‌یابد. تغییر مکان غیر الاستیک در ناحیه کاهش مقطع داده شده برای تیر RBS باعث ایجاد فیوز شکل‌پذیر در این ناحیه می‌شود. درحالی‌که تغییر شکل غیر الاستیک برای اتصال WRBS⁷ در چشمه اتصال و بال‌های تیر رخ داده است.

⁵ Kassegne⁶ Ajay Kulkarni, and Vesmawala⁷ Web Reduced Beam Section¹ Engelhart² Reduced beam section³ Roeder⁴ Lee

مرشدی و همکاران در سال 2017 [9] در مقاله‌ای با نام اتصالات دوتایی مقطع کاهش یافته، یک اتصال فولادی با مقطع کاهش یافته جدید، با نام برش دوتایی⁸ DRBS را معرفی کردند. و عملکرد لرزه‌ای این اتصال با استفاده از مدل‌سازی اجزای محدود مورد ارزیابی قرار دادند. این اتصالات از دو بخش کاهش یافته در امتداد بال تیر که به روش شعاعی کاهش مقطع داده شده‌اند تشکیل می‌شود. این کاهش مقطع در بال تیر در نزدیکی ستون تشکیل می‌شوند تا نسبت به تیرهای RBS متداول منطقه لولای پلاستیکی گسترده تری داشته باشند. در نتیجه، این کاهش مقطع کرنش پلاستیکی معادل بین دو منطقه کاهش یافته تیر تقسیم می‌شود. مطالعه بر روی تاثیر پارامترهای برشی بر رفتار لرزه‌ای این اتصالات انجام شده است و نتایج نشان داد که به دنبال دستورالعمل‌های بیان شده در این تحقیق، تیرهای کاهش مقطع داده شده DRBS میتواند تا 40 درصد ظرفیت چرخشی بیشتر نسبت به تیرهای RBS متداول داشته باشند. اتصال DRBS، در مقایسه با تیرهای RBS متداول کماتش‌های موضعی را به تعویق انداخته و در نتیجه 50 تا 75 درصد جذب انرژی را نسبت به تیرهای RBS متداول افزایش دهد. همچنین انرژی لرزه‌ای در ناحیه کاهش مقطع داده شده تیر قبل از کماتش، در مقایسه با اتصال RBS متداول کاهش می‌یابد و بین دو مقطع کاهش یافته در این تیرها توزیع می‌گردد. فنایی و همکاران [10] رفتار تیرهای با مقطع کاهش یافته در بال به روش قوس شعاعی را در سیستم‌های قاب خمشی بررسی نمودند، آن‌ها در این تحقیق نشان دادند که پارامترهای طول برش و عمق برش تاثیر بسیاری در دریافت طبقات دارد. همچنین ماکزیمم تاثیر ضخامت بال و جان تیر در دریافت طبقات بین 0.9 تا 1.6 درصد میباشد. هونگ [11] در مقاله‌ای رفتار تیرهای RBS شیب دار را مورد بررسی قرار داد. در این مقاله یک ستون که دو سمت آن تیر RBS بصورت شیب‌دار متصل شده در نرم افزار اجزای محدود مدل‌سازی شده است یک سمت ستون تیر RBS شیب به سمت بالا دارد و در سمت دیگر تیر RBS شیب به سمت پایین دارد و با حالتی که تیرها شیب ندارند مقایسه شده است. نتایج نشان داد که اگر زاویه این شیب‌ها 5 و 10 درجه باشد، ظرفیت خمشی رفتار قابل قبولی دارد ولی اگر زاویه شیب 20 درجه باشد ظرفیت خمشی تیر 26 درصد از حالتی که تیرها RBS شیب نداشته باشند کمتر میشود و کماتش‌های موضعی شدیدی در تیر رخ

میدهد. بومپا و القازولی [12] رفتار تیر RBS را با مدل‌سازی اجزای محدود را بررسی نمودند، در این مطالعه که در بخش‌های مختلف تیر با مقطع کاهش یافته صورت گرفته است رفتار غیر خطی و کرنش‌های ایجاد شده در قسمت‌های مختلف تیر RBS بررسی شده است. دو نمونه تیر RBS با اندازه‌های مقاطع معمولی و دو نمونه تیر با ضخامت زیاد در نرم افزار مدل‌سازی شده است. نتایج این مطالعه نشان داد با افزایش ضخامت بال در تیر RBS میتوان از کماتش‌های موضعی در قسمت کاهش یافته تیر جلوگیری نمود. در این مطالعه کرنش پلاستیک در ناحیه کاهش یافته برای مقاطع مختلف تیر ارائه شده است. نتایج مدل‌سازی اجزای محدود در این مطالعه نشان میدهد که تیرها با مقطع کاهش یافته که از ضخامت‌های بزرگ بال و جان تشکیل شده‌اند قادر به گرفتن کماتش موضعی در بال ناحیه کاهش یافته و کماتش‌های خارج از صفحه در جان در ناحیه کاهش یافته تیر است. آتش‌زبان و همکاران [13] در مقاله‌ای با اشاره به خرابی‌های گسترده در اتصالات تیر به ستون در سیستم قاب خمشی، استفاده از اتصالات تیر با مقطع کاهش یافته را پیشنهاد نمودند، آن‌ها در مقاله خود با ایجاد یک سری سوراخ در بالا و پایین بال تیر در نزدیکی محل اتصال تیر به ستون اتصالات با مقطع کاهش یافته را ایجاد نمودند، سوراخ‌ها در بال‌های تیر برای ایجاد یک منطقه تضعیف شده عمده برای تغییر شکل‌های غیر خطی میباشد. این مطالعه با هدف بهبود وضعیت عملکرد اتصالات با مقطع کاهش یافته به منظور جایگزینی روشی مناسب برای اتصالات متداول RBS انجام شده است و نتایج نشان میدهد که این اتصالات عملکرد بهتری نسبت به تیرهای RBS متداول دارند. مقدم و فنایی [14] در سال 2016 در مقاله‌ای اتصال تیر فولادی به ستون CFT⁹ با سخت‌کننده‌های خارجی T شکل از نظر سادگی اجرا، عدم نیاز به برش ستون در محل اتصال و عدم مزاحمت برای بتن‌ریزی ستون بهتر از دیگر اتصالات مشابه معرفی کردند. در این تحقیق جزئیات مختلف سوراخ کاری برای ایجاد ناحیه کاهش یافته تیر مانند تعداد، قطر و فاصله سوراخ‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین مدل‌سازی اجزای محدود برای نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS انجام شده است. نتایج تحلیلی به دست آمده نشان می‌دهد که سوراخ کاری بال تیر موجب کاهش تمرکز تنش در محل اتصال تیر به ستون میشود و شکل‌پذیری را افزایش داده و احتمال گسیختگی

⁹ Concrete Filled Tube⁸ Double Reduced Beam Section

ترد در این اتصال را کاهش می‌دهد. کازرانی و همکاران [15] در سال 2017 رفتار تیر کاهش یافته سوراخ شده در بال DBS¹⁰ را مورد بررسی قرار دادند. در این مقاله، برای بررسی رفتار لرزه‌ای این نوع اتصالات از مدل‌سازی اجزای محدود استفاده شده است. انتهای آزاد این تیرها تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفته است. این مطالعه برای شناخت اشکال بهینه سوراخ در بال انجام شده است. در این مقاله 6 نمونه از اتصالات DBS مدل‌سازی شده است. بر اساس نتایج بدست آمده در این تحقیق، اگر بزرگترین سوراخ در نزدیکی اتصال تیر به ستون باشد، تیر با مقطع کاهش یافته رفتار لرزه‌ای بهتری را نشان می‌دهد. در این مطالعه با دور شدن سوراخ‌ها از اتصال تیر به ستون، قطر سوراخ‌ها نیز کاهش می‌یابد. در این تحقیق اثرات ابعاد، موقعیت و تعداد سوراخ‌ها مورد بررسی قرار گرفته است، ایجاد این سوراخ‌ها در تیر نشان داد که مفصل پلاستیکی از منطقه اتصال تیر به ستون خارج می‌شود. اخوان و خسروی [16] در مقاله‌ای، تاثیر شکل‌های مختلف کاهش مقطع در تیر را در بال تیر و کاهش مقطع در جان در نزدیکی اتصال تیر به ستون را بررسی نمودند. کاهش مقطع در بال تیر به روش شعاعی و با ایجاد سوراخ در نزدیکی اتصال تیر به ستون ایجاد شده است و کاهش مقطع در جان تیر در نزدیکی اتصال تیر به ستون با ایجاد سوراخ و همچنین ایجاد برش قوسی می‌باشد، نتایجی که از مدل‌سازی‌ها حاصل گردید نشان داد استفاده از تیر با مقطع کاهش یافته باعث افزایش شکل‌پذیری در سیستم‌های قاب خمشی می‌شود، همچنین در بررسی شکل‌های مختلف کاهش مقطع در جان تیر نشان داد که کاهش مقطع در جان تیر به شکل گوه بیشترین ضریب رفتار را دارد و ضریب رفتار برای نمونه کاهش مقطع در بال به روش شعاعی بیشتر از کاهش مقطع در بال با ایجاد سوراخ است. با مقایسه کلی تیرها با مقاطع کاهش یافته می‌توان نتیجه گرفت کاهش مقطع در بال به روش شعاعی که بر اساس آیین‌نامه FEMA [17] طراحی شده بهترین ضریب رفتار را دارد. استفاده از تیر با مقطع کاهش یافته در همه مدل‌ها تمرکز تنش را از محل اتصال تیر به ستون دور میکند و به ناحیه کاهش یافته انتقال می‌دهد که این امر باعث افزایش شکل‌پذیری و جلوگیری از شکست ترد در اتصالات می‌شود. داورپناه و همکاران در سال (2020) [18] در مقاله خود با عنوان "رفتار چرخه‌ای قاب خمشی

RWS بیضوی شکل جوش داده شده" اینگونه بیان کردند که یکی از معایب اصلی تیر با مقطع کاهش یافته (RBS) امکان کماتش‌های موضعی در تیر است. بر اساس تحقیقات قبلی، کاهش سطح مقطع در امتداد جان به جای بال یکی از روش‌های موثر برای جلوگیری از این پدیده است. در این مقاله با ایجاد یک دهانه بیضوی در جان تیر، جزئیات جدیدی در مورد اتصالات RWS ارائه شده است و توصیه‌هایی را برای بهینه نمودن پارامترهای هندسی تیر با مقطع کاهش یافته بیان نمودند. با توجه به نتایج این مطالعه، ایجاد یک دهانه بیضوی در جان تیر می‌تواند جایگزین مناسبی برای اتصالات تیر با مقطع کاهش یافته در بال باشد. در این مقاله بیان شده که تیرها با کاهش مقطع در جان می‌تواند رفتارهای لرزه‌ای قاب‌های خمشی را بهبود بخشند. نظرعلیزاده و همکاران [19] در مقاله‌ای بررسی رفتار 14 نمونه تیر با مقطع کاهش یافته را که در 13 نمونه از این مدل‌ها کاهش مقطع در جان تیر به شکل‌های مختلف ایجاد شده است و در یکی از نمونه‌ها کاهش مقطع در بال با روش قوس شعاعی می‌باشد، به کمک مدل‌سازی با نرم‌افزار ABAQUS انجام شده است. برای مدل‌سازی تیرها از المان Shell استفاده شده است. تیر با مقطع کاهش یافته توسط یک ورق به وسیله پیچ به ستون متصل شده‌اند. نتایج نشان داد که مدل‌های کاهش مقطع یافته در جان عملکرد بهتری در شکل‌پذیری و ظرفیت خمشی نسبت به تیر با مقطع کاهش یافته به روش قوس شعاعی در بال دارد. تیر با مقطع کاهش یافته در جان 5% شکل‌پذیری و 10% ظرفیت خمشی بهتر نسبت به تیر کاهش مقطع یافته در بال دارند، برای تمام نمونه‌ها تنش و کرنش‌هایی کمی در اتصال تیر به ستون ایجاد می‌شود و تمرکز تنش و کرنش در قسمت کاهش یافته تیر می‌باشد. برای تیر با کاهش مقطع در بال تمرکز تنش و کرنش در قسمت میانی تیر که بیشترین کاهش مقطع را دارد ایجاد می‌شود و برای نمونه‌های کاهش مقطع در جان تمرکز تنش و کرنش در قسمت بالا و پایین شکاف‌ها ایجاد شده در جان تیر می‌باشد. همچنین در مدل‌های کاهش مقطع یافته در جان تیر کماتش پیچشی جانبی تیر کمتر از مدل کاهش مقطع یافته در بال می‌باشد. مصلحی تیر و همکاران [20] رفتار تیر کاهش مقطع یافته در بال و جان را بررسی نموده است. نتایج این مطالعه نشان داد که تیر با مقطع کاهش یافته در جان می‌تواند دررفت‌های میان‌طبقه‌ای کمتری در یک سیستم قاب خمشی نسبت به تیر با کاهش

¹⁰ Drilled Beam Section

مقطع در بال ایجاد نماید. زعفرانی و همکاران [21] در مقاله‌ای برای جلوگیری از کماتش‌های موضعی از صفحه در ناحیه کاهش یافته تیرهای RBS، روش استفاده از سیستم¹¹ HS-RBS را ارائه نمودند. مطابق با این روش ناحیه کاهش یافته تیر RBS به وسیله گروت، پیچ و ورق‌های فولادی محصور می‌شود. استفاده از این سیستم در ناحیه کاهش یافته تیرهای RBS باعث افزایش شکل‌پذیری در تیرهای RBS می‌شود و مقاومت ناحیه کاهش یافته تیرهای RBS را به دررفت‌های بالاتری افزایش می‌دهد.

با توجه به اهمیت کماتش‌های موضعی در ناحیه‌ی کاهش یافته تیرهای RBS که در مطالعات گذشته ارائه شده مشخص نمودن در رفتی که باعث ایجاد کماتش موضعی در ناحیه کاهش یافته این تیرها می‌گردد برای مقاطع مختلف تیر RBS دارای اهمیتی ویژه است. در این تحقیق کماتش‌های موضعی در دررفت‌های مختلف در ناحیه کاهش یافته تیر مشخص شده است. سپس با استفاده از مدلسازی اجزای محدود کماتش‌های موضعی در ناحیه بال و جان تیرهای RBS با مقاطع مختلف مشخص شده است. منحنی‌های هیستریزس لنگر در رفت برای مقاطع مختلف تیر RBS محاسبه شده و سپس با ترسیم پوش منحنی‌های هیستریزس مقاطع مختلف تیر RBS، مشخص شده هر مقطع از تیر RBS در کدام در رفت دچار کماتش‌های خارج از صفحه می‌شود.

2- کلیات تحقیق

یکی از مشکلات اصلی تیر با مقطع کاهش یافته کماتش‌های موضعی در ناحیه کاهش یافته تیر می‌باشد. با ایجاد این کماتش‌های موضعی در ناحیه کاهش یافته تیر RBS جذب انرژی این تیرها نسبت به تیرهای معمولی کاهش می‌یابد. همچنین کماتش‌های موضعی در ناحیه کاهش یافته تیر باعث زوال شیب منحنی لنگر در رفت در تیرهای RBS می‌شود. در این مقاله ابتدا یک تیر RBS متصل به ستون تحت بار چرخه‌ای مورد آزمایش قرار داده شده و سپس مدلسازی اجزای محدود انجام شده است. همچنین نتایج منحنی لنگر در رفت آزمایش با نتایج مدلسازی اجزای محدود مقایسه شده است. مدلسازی اجزای محدود برای مقاطع مختلفی از تیرهای RBS انجام شده است و مشخص شده در هر مقطع از تیر RBS در کدام در رفت کماتش‌های موضعی در تیر RBS آغاز می‌شود. شکل 1 محل قرار گیری مدل آزمایشگاهی در محل آزمایش را نشان می‌دهد. برای مدل آزمایشگاهی از تیر با مقطع IPE300 و ستون با مقطع IPB300

استفاده شده است. طول تیر برابر با 2 متر و طول ستون برابر 2.5 متر می‌باشد. برای اتصال تیر به ستون از جوش سراسری شیاری استفاده شده است. سطح تیر و ستون در ناحیه اتصال و ناحیه کاهش یافته تیر با آهک پوشانده شده تا تسلیم ورق با ریختن آهک مشخص شود. دو تکیه‌گاه مفصلی در دو سمت آزاد ستون قرار داده شده است. همچنین به وسیله دو پروفیل قوطی که در دو سمت تیر قرار می‌گیرد از کماتش پیچشی جانبی تیر جلوگیری شده است. برای محاسبه پارامترهای ناحیه کاهش یافته تیر مطابق از روابط آیین‌نامه AISC358 [22] استفاده شده است.

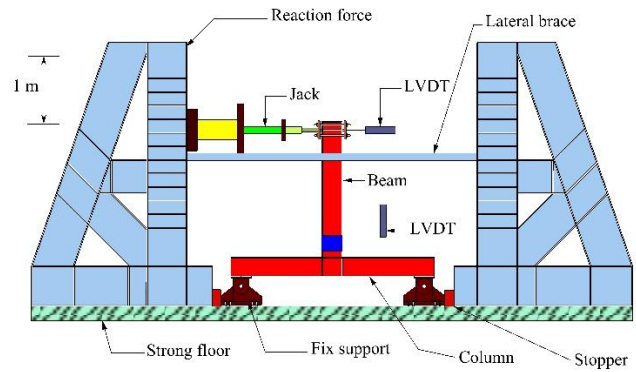
3- روند طراحی

روند طراحی تیر با مقطع کاهش یافته و پارامترهای ناحیه کاهش یافته تیر مطابق با مراحل ارائه شده در آیین‌نامه AISC358 [22] انجام شده است. مطابق با این آیین‌نامه محدودیت‌های زیر برای طراحی تیرهای RBS بیان شده است:

1. تیرها باید از اعضای I شکل با بال عریض نورد شده باشند.
2. حداکثر عمق تیر باید برابر با مقطع W36 باشد.
3. حداکثر وزن تیر 300 پوند بر فوت باید باشد.
4. نسبت دهانه به عمق برای سیستم SMF میبایست 7 یا بیشتر باشد.
5. نسبت عرض به ضخامت برای بال تیر را می‌توان در یک نقطه محاسبه کرد که در قسمت دو سوم برش RBS قرار دارد.
6. اتصالات RBS که دال بتنی دارند و الزامات را برآورده می‌کند AISC 358 [22] نیاز به داشتن مهار جانبی در قسمت کاهش یافته تیر ندارند.
7. اگر دال کف وجود نداشته باشد، در RBS به یک مهاربند اضافی نیاز است. این مهاربند نباید در قسمت کاهش یافته وصل شود.

¹¹ Hybrid-sandwiching Reduced Beam Section



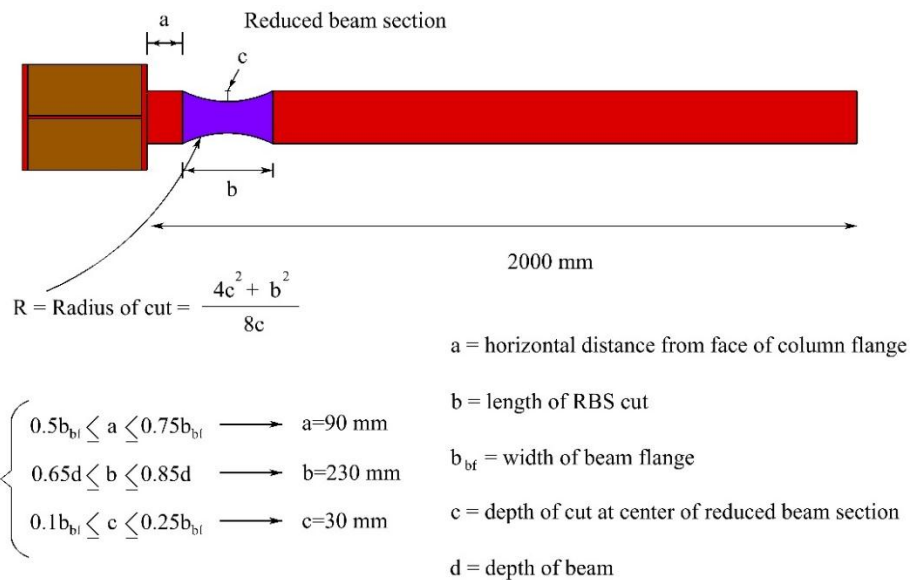


شکل 1- سیستم آزمایش و نمونه آزمایشگاهی [21]

جوش بال تیر به ستون به نواحی داخلی تیر می‌باشد. بدین وسیله لنگر پلاستیک تیر در نواحی کاهش مقطع داده شده تشکیل می‌شود. مطابق با آیین نامه AISC358 [22] برای تعیین فاصله مفصل پلاستیک از بر ستون ابتدا باید حدودی برای مقادیر a , b , c تعیین نمود.

1-3- تعیین محل مفصل پلاستیک در تیر RBS

همان‌طور که در قبل بیان شد، هدف اصلی از منظور نمودن مقطع کاهش یافته برای تیرها، انتقال محل تشکیل مفصل پلاستیک از ناحیه



شکل 2- محدودیت هندسی محل کاهش یافته در تیر RBS [22]

محل دقیق مفصل پلاستیک در مرکز بخش بریده شده بال فرض می‌شود. فاصله این محل از بر ستون به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_h = a + b/2$$

رابطه 1

یک تخمین اولیه برای این مقادیر می‌تواند شعاع و محل بریدگی تیر را در ناحیه کاهش یافته تیر تعیین نماید. برای تیر IPE300 روند طراحی

به شرح زیر می‌باشد:

ضریب C_{pr} برابر است با تقریب افزایش مقاومت اتصال با توجه به پدیده‌هایی چون سخت‌شدگی کرنشی، ممکن است به وجود آید. مقدار این ضریب با توجه به آیین‌نامه AISC 358 [22] برابر خواهد بود با:

$$C_{pr} = \frac{f_y + f_u}{2f_y} \leq 1.2$$

در این رابطه، f_y برابر با تنش تسلیم فولاد می‌باشد و f_u برابر با تنش نهایی فولاد می‌باشد.

3-4- تعیین نیروی برشی در مرکز هر یک از مقاطع کاهش‌یافته

معادله‌ای که برای به دست آوردن نیروی برشی در مقطع مرکزی قسمت کاهش‌یافته، استفاده می‌شود به صورت رابطه 5 می‌باشد که V_{RBS} مقدار

$$Z_e = Z_{xb} - 2ct_{bf}(d_b - t_{bf}) = Z_{RBS} \quad \text{رابطه}$$

نیروی برشی در مقطع مرکزی و V_{pr} برش در حالتی است که مقطع کاهش‌یافته به حداکثر ظرفیت خمشی خود یعنی M_{pr} رسیده باشد.

$$V_{RBS} = 1.2 \times V_{DL} + 0.5 \times V_{LL} + V_{pr} \quad \text{رابطه 5}$$

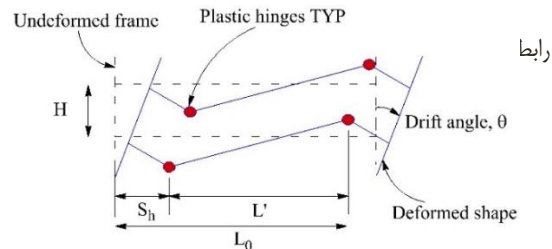
3-5- تعیین حداکثر لنگر خمشی ایجادشده در بر ستون

در این مرحله باید ممان خمشی که در بر ستون ایجاد می‌شود محاسبه گردد. مقدار این ممان برابر است با:

$$M_f = M_{pr} + V_{RBS} S_h \quad \text{رابطه 6}$$

در رابطه 6 میزان لنگر خمشی در قسمت اتصال تیر به ستون با توجه به برش در قسمت کاهش‌یافته تیر RBS به دست می‌آید که این مقدار برای IPE300 برابر با $M_f = 142.876 \text{ kN.m}$ می‌باشد. در اکثر مواردی، برای تیرهای با مقاطع کاهش‌یافته، از ممان خمشی ناشی از بار گسترده در قسمت بین اتصال و مقطع کاهش‌یافته صرف‌نظر می‌شود.

در رابطه 1 فاصله اتصال تیر به ستون تا قسمت میانی کاهش‌یافته برابر با S_h است که این مقدار با توجه به پارامترهای قسمت کاهش‌یافته 10.5 cm بدست می‌آید. مطابق شکل 3 محل تشکیل مفصل پلاستیک در تیر مشخص شده است.



شکل 3- محل مفصل‌های پلاستیک

3-2- تعیین مدول مقطع پلاستیک برای قسمت کاهش‌یافته مقطع

مدول مقطع پلاستیک در مرکز بریدگی مقطع تابعی است از مدول پلاستیک اولیه مقطع منهای قسمت جداشده که در آیین‌نامه AISC [22358] به صورت زیر ذکر شده است:

مقدار مدول پلاستیک تیر Z_{xb} در جهت x برابر 602.1 cm^3 است. همچنین t_{bf} ضخامت بال تیر RBS می‌باشد با قرار دادن این اعداد و پارامتر قسمت کاهش‌یافته تیر c و عمق مقطع تیر d_b در رابطه 2 مدول پلاستیک در قسمت مرکزی کاهش‌یافته در تیر برابر با $Z_{RBS} = 411.36 \text{ cm}^3$ می‌باشد.

3-3- تعیین حداکثر ممان خمشی در مرکز قسمت کاهش‌یافته

در این قسمت، حداکثر ممان خمشی ممکن یعنی M_{pr} در مرکز قسمت کاهش‌یافته بدست خواهد آمد. این ممان با توجه به رابطه آیین‌نامه برابر است با:

$$M_{pr} = C_{pr} R_y f_y Z_e \quad \text{رابطه 3}$$

در رابطه 3 با توجه به تنش تسلیم f_y و تنش حد نهایی فولاد f_u مقدار C_{pr} از رابطه 4 بدست می‌آید، همچنین Z_e مدول پلاستیک در ناحیه مرکزی قسمت کاهش‌یافته تیر، میزان حداکثر ممان خمشی در قسمت میانی کاهش‌یافته تیر برابر با $M_{pr} = 142.16 \text{ kN.m}$ می‌شود.

باشد. حداکثر ظرفیت تیر در این مرحله به همراه ضریب φ_d ظاهر می‌شود.

$$M_f / \varphi_d M_{pe} \leq 1 \quad \text{رابطه 8}$$

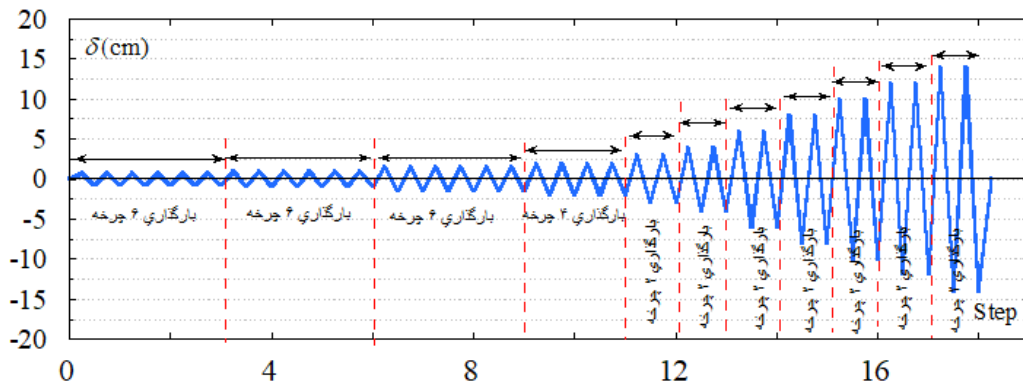
مقدار $M_f = 142.87 \text{ kN.m}$ میباشد و مقدار $\varphi_d = 1$ و مطابق با رابطه 7 مقدار حداکثر ظرفیت خمشی تیر $M_{pe} = 173.3 \text{ kN.m}$ است که با قرار دادن این مقادیر رابطه 8 را ارضا میکند.

4- نتایج آزمایشگاه

مشخصات مصالح تیر و ستون مطابق جدول 1 میباشد این مشخصات با توجه به نمونه های که از تیر و ستون در آزمایشگاه جدا شده و مورد آزمایش کششی قرار گرفته اند، بدست آمده است.

جدول 1- مشخصات مصالح

اجزا	مدول الاستیسیته (GPa)	تنش تسلیم (MPa)	تنش نهایی (MPa)
تیر	202	432	553
ستون	202	420	548



شکل 4- پروتکل بارگذاری

3-6- محاسبه ممان خمشی پلاستیک قابل انتظار برای مقطع کامل تیر

در این مرحله، حداکثر ظرفیت خمشی پلاستیک قابل انتظار برای مقطع را به دست خواهیم آورد.

$$M_{pe} = Z_{xb} R_{yb} f_{yb} \quad \text{رابطه 7}$$

مطابق رابطه 7 حداکثر ظرفیت خمشی با قرار دادن مدول پلاستیک و تنش تسلیم حاصل میشود که این مقدار برابر $M_{pe} = 173.3 \text{ kN.m}$ است.

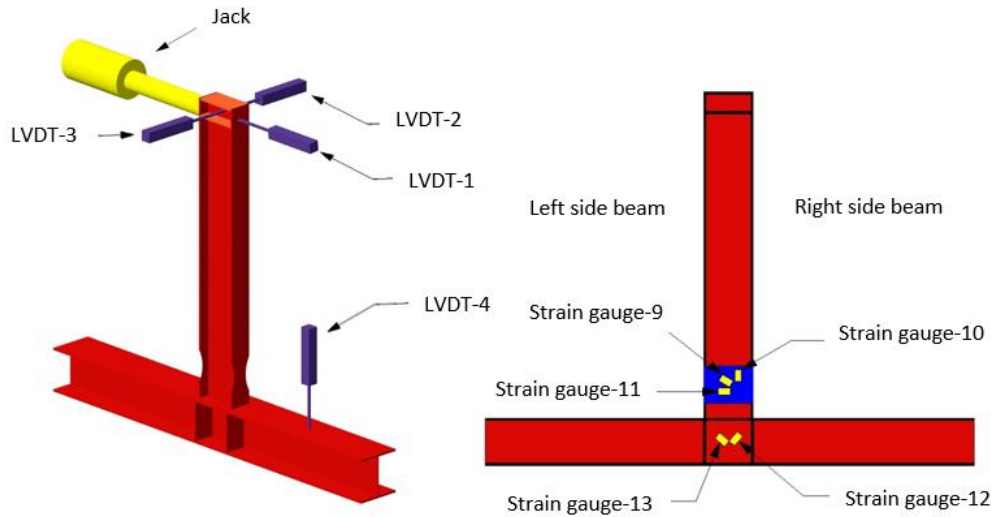
3-7- کنترل رابطه

در این مرحله مقدار حداکثر لنگر ایجاد شده در بر ستون را باید با حداکثر ظرفیت خمشی تیر مقایسه کنیم. یعنی اگر حداکثر لنگر ایجاد شده در بر ستون بیشتر از حداکثر ظرفیت خمشی باشد، باید مقادیر دیگری به عنوان هندسه مقطع کاهش یافته انتخاب شوند. این روند سعی و خطا باید انجام شود تا مقدار حداکثر لنگر ایجاد شده از مقدار حداکثر ظرفیت تیر کمتر

4-1- محل قرارگیری LVDT و کرنش سنج ها :

قرار داده شده است، تا جابجایی راستای عمود بر محور جک را اندازه‌گیری نماید. LVDT شماره 4 برای اندازه‌گیری جابجایی‌های ستون بر روی بال بالایی ستون قرار داده شده است.

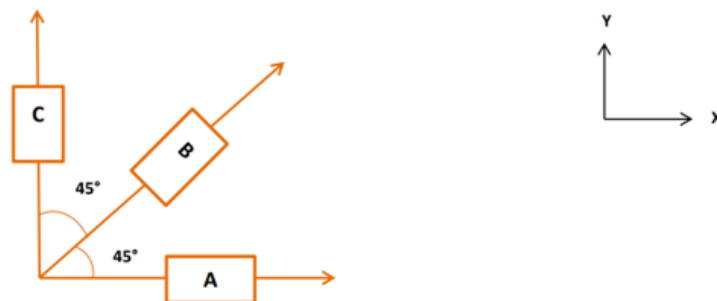
در نمونه آزمایش از 4 عدد LVDT استفاده شده که باتوجه به شکل 5 محل قرار گیری آنها نشان داده شده است. LVDT شماره 1 برای اندازه‌گیری جابجایی انتهای آزاد تیر، در راستای محور جک قرار داده شده است. LVDT شماره 2 نیز در راستای عمود بر محور جک در جان تیر قرار گرفته است. LVDT شماره 3 در راستای عمود به جان، در انتهای آزاد تیر



شکل 5- محل قرارگیری کرنش سنج ها و جک در نمونه آزمایش

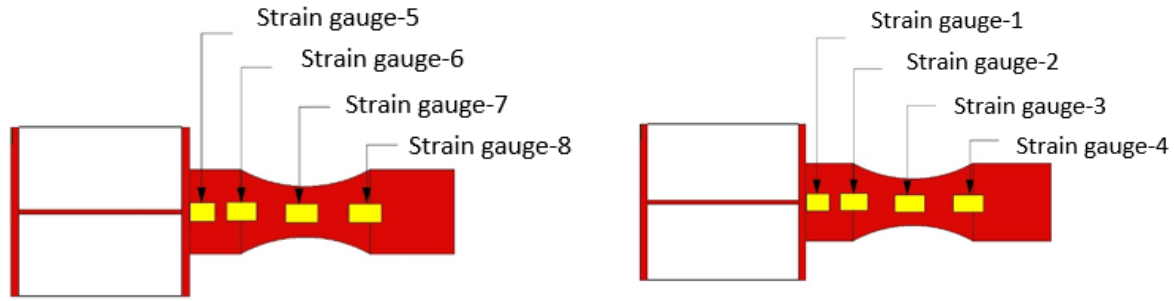
اندازه‌گیری کرنش‌ها برشی در ناحیه جان تیر قرار داده شده است. یکی به حالت عمودی، دیگری به صورت 45 درجه و آخری به صورت قائم مطابق شکل 6-الف قرار داده شده است. دو کرنش سنج دیگر نیز در قسمت جان ستون قرار داده شده است.

برای نمونه 13 عدد کرنش سنج استفاده شده است. مطابق شکل 6-ب عدد 8 عدد کرنش سنج دو سمت بال تیر در امتداد ناحیه کاهش یافته قرار داده شده است. که دو کرنش سنج از این 6 عدد در محل اتصال بال تیر به بال ستون قرار گرفته است. 3 کرنش سنج برای



الف: قرار گیری کرنش سنج های در جان ناحیه کاهش یافته تیر RBS





ب: قرار گیری کرنش سنج ها در دو سمت بال ناحیه کاهش یافته تیر RBS

شکل 6- محل قرارگیری کرنش سنج ها در دو سمت بال تیر و جان تیر

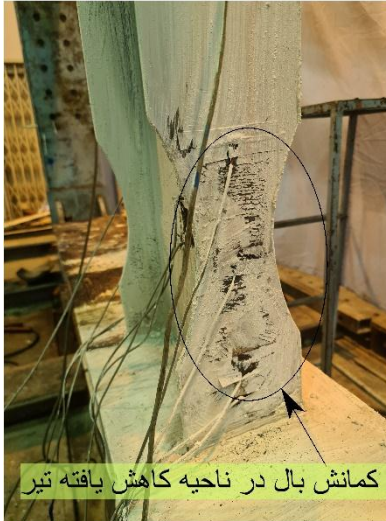
آهک در دو سمت بال ناحیه کاهش یافته شدت گرفته و در دررفت 3 درصد، جان در ناحیه کاهش یافته اندکی دچار کماتش موضعی می‌شود و آهک در این ناحیه دچار ریزش می‌شود. در دررفت 4 درصد کماتش جان کاملاً قابل شهود می‌شود. در دررفت 5 درصد در ناحیه‌ای از بال که بیشترین قوس کاهش یافته وجود دارد، بال تیر دچار پارگی می‌شود و این پارگی تا جان ادامه می‌یابد. در دررفت 5 درصد تیر RBS مقاومتش را از دست می‌دهد و آزمایش متوقف می‌شود.

بارگذاری چرخه‌ای مطابق با پروتکل [23] AISC341 صورت گرفته است. بارگذاری به سر آزاد تیر اعمال شده است و برای جلوگیری از لهیدگی در محل قرار گیری جک به بال تیر از ورق‌های پیوستگی استفاده است. تعداد سیکل‌های بارگذاری مطابق شکل 4 مشخص شده است.

مطابق شکل 7 نتایج آزمایش در دررفت‌های مختلف نشان داده شده است. ابتدا در دررفت 1.5 درصد اندکی از آهک دو سمت بال در ناحیه کاهش یافته دچار ریزش می‌شود. سپس در دررفت 2 درصد ریزش



(پ): دررفت 3%



(ب): دررفت 2%



(الف): دررفت 1.5%



(ث): دریفت 5٪



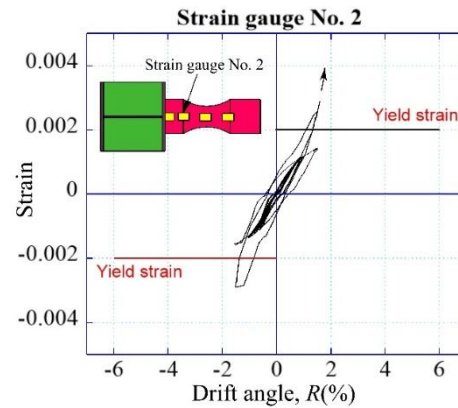
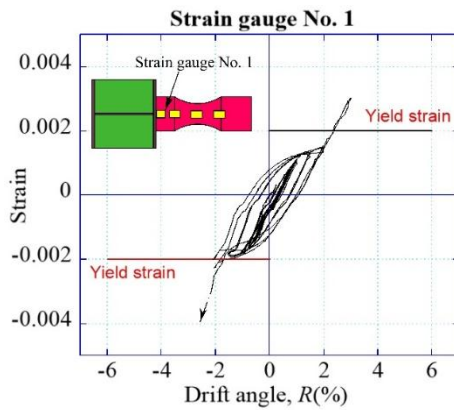
(ت): دریفت 4٪

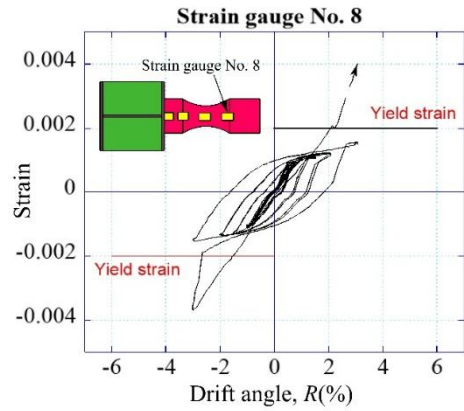
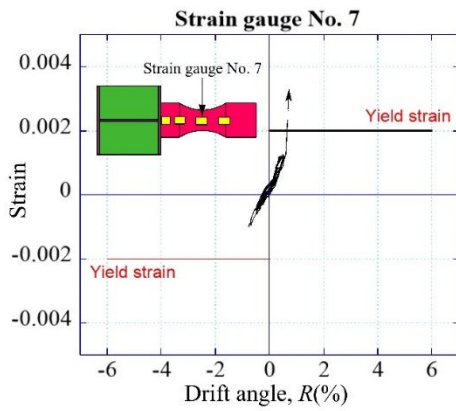
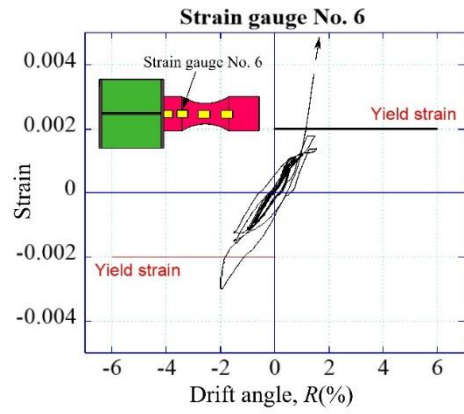
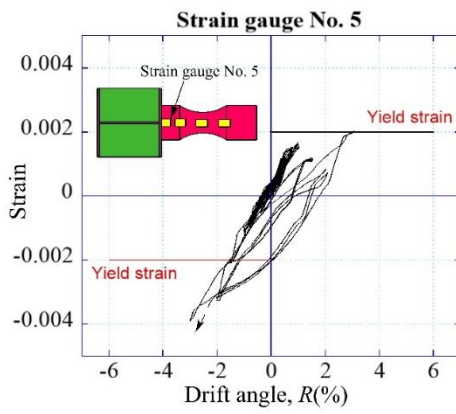
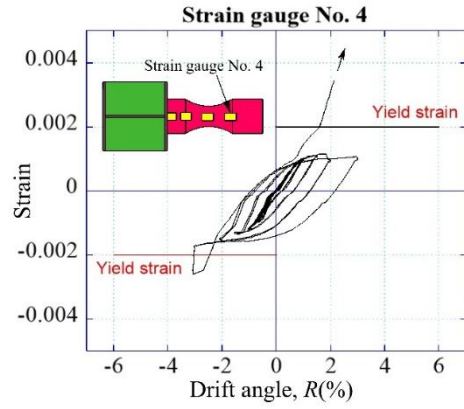
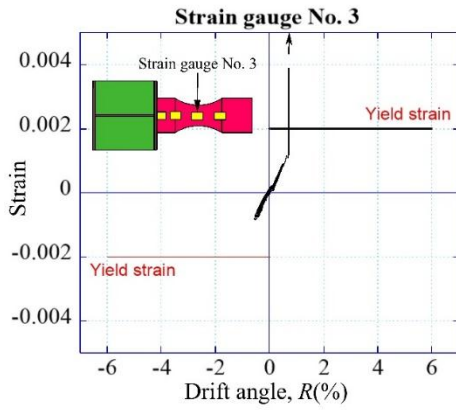
شکل 7- نتایج آزمایش در دریفت های مختلف

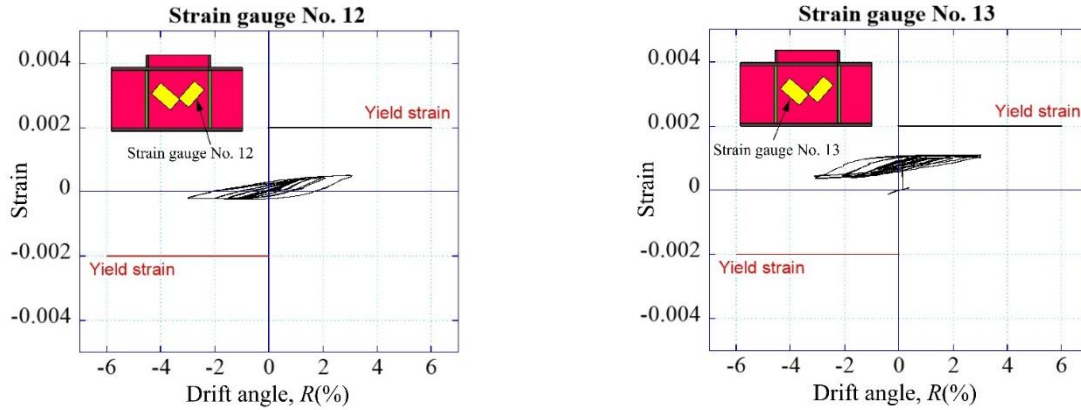
سنج‌های قرار گرفته در دو سمت بال در ناحیه کاهش یافته تیر RBS به تسلیم رسیده‌اند. همچنین کرنش سنج‌های قرار گرفته در جان ستون تا پایان آزمایش به تسلیم نمی‌رسند. نتایج کرنش برشی که در جان تیر قرار داده شده در شکل 9 نشان داده شده است.

4-2- نتایج کرنش سنج ها :

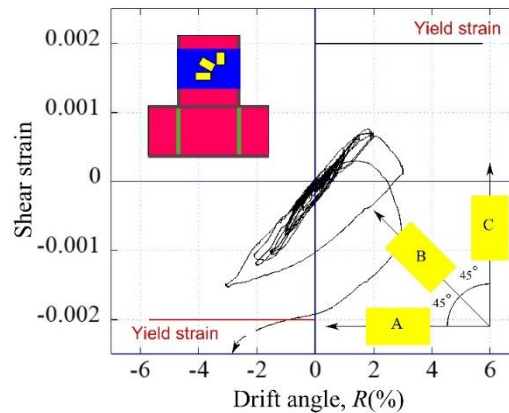
نتایج کرنش سنج‌ها با توجه به شماره‌ها مشخص شده در شکل 6 در شکل 8 نشان داده شده است. مطابق با نتایج بدست آمده کرنش







شکل 8- نتایج آزمایش در دررفت های مختلف [21]



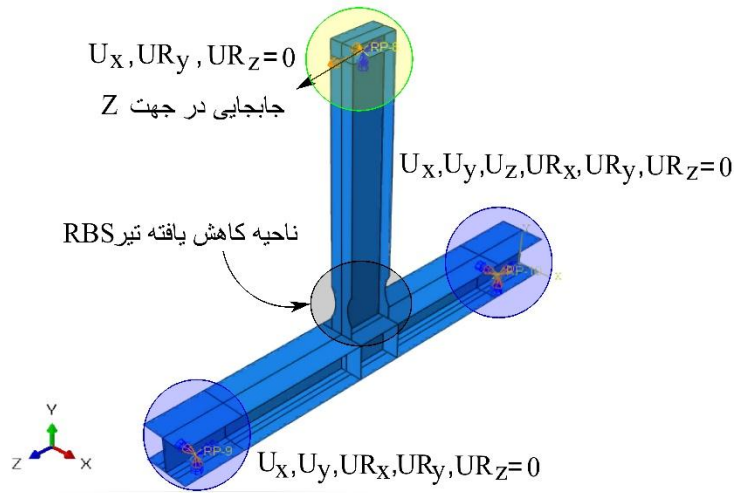
شکل 9- نتایج کرنش سنج ها آزمایش [21]

شده است. در قسمت Assymble نرم افزار تیر و ستون و ورق های تقویتی در محل اتصال تیر به ستون مطابق با مدل آزمایشگاهی قرار گرفته اند و تمام المان ها Merge شده است. در دو سمت آزاد ستون تکیه گاه مطابق با شرایط آزمایشگاهی قرار داده شده است. جایجایی مطابق با پروتکل بارگذاری [23] AISC341 به سر آزاد تیر وارد شده است. از مش با المان S4R برای تیر و ستون و ورق های تقویتی استفاده شده است. مطابق شکل 10 شرایط تکیه گاهی و بارگذاری در نرم افزار انجام شده است.

5- مدل سازی عددی

برای مدل سازی اجزای محدود نمونه ها از نرم افزار ABAQUS استفاده شده است. تیر و ستون با استفاده از المان Shell از نوع Extrusion در نرم افزار مدل سازی شده است. برای تخصیص مشخصات الاستیک و پلاستیک فولاد از نتایج آزمایش استفاده شده است. نوع تحلیل، DYNAMIC IMPLICIT انتخاب شده است. همچنین برای مدل سازی ورق های پیوستگی و مضاعف از المان Shell از نوع Planer استفاده

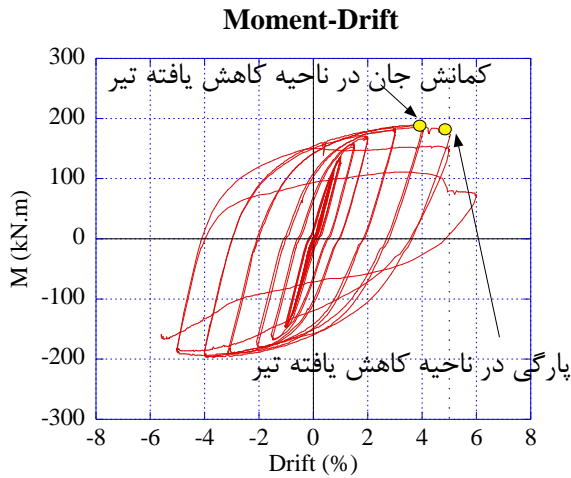




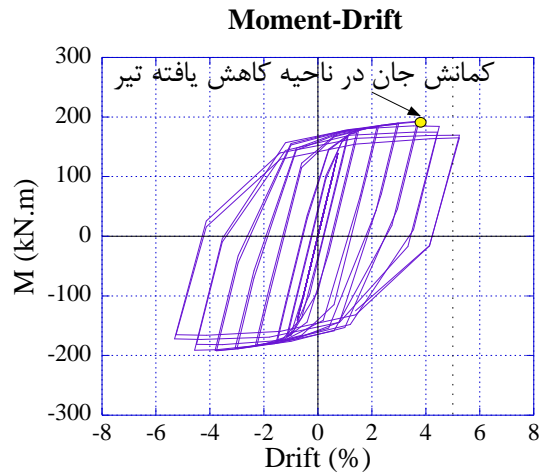
شکل 10- شرایط بارگذاری و تکیه گاهی در نرم افزار

منحنی در دررفت 4 درصد دچار زوال شده اند و در این دررفت جان در ناحیه کاهش یافته تیر RBS

مطابق با شکل 11 نتایج منحنی هیستریزس لنگر دررفت آزمایش و مدلسازی نرم افزاری مشخص شده است. مطابق با این شکل دو



(ب): نتایج آزمایش



(الف): مدلسازی اجزای محدود

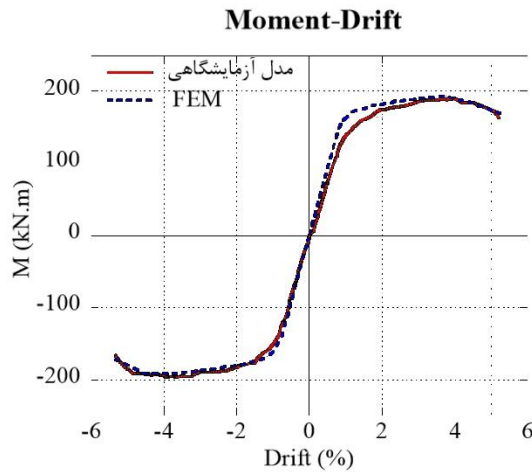
شکل 11- نتایج منحنی هیستریزس آزمایش و نرم افزار

مطابق با جدول 2 نتایج مدل آزمایشگاهی با مدل عددی نشان داده شده است.

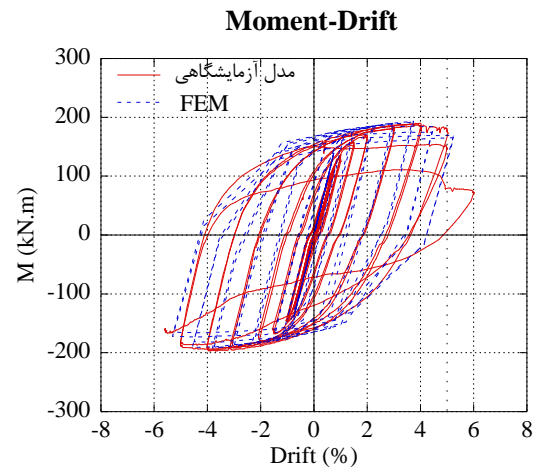
جدول 2- مقایسه نتایج آزمایش و مدلسازی عددی

	R_y	R_u	M_y
آزمایش	0.96	5.1	140
FEM	0.88	5.2	160

مطابق با شکل 12 نتایج منحنی هیستریزس و پوش منحنی هیستریزس مدل آزمایشگاه با نتایج مدلسازی اجزای محدود مقایسه شده است. مطابق با این شکل هم پوشانی مناسبی بین نتایج مدل‌های آزمایشگاهی با مدلسازی نرم افزار نشان داده شده است.



ب: مقایسه پوش حاصل از نتایج هیستریزس

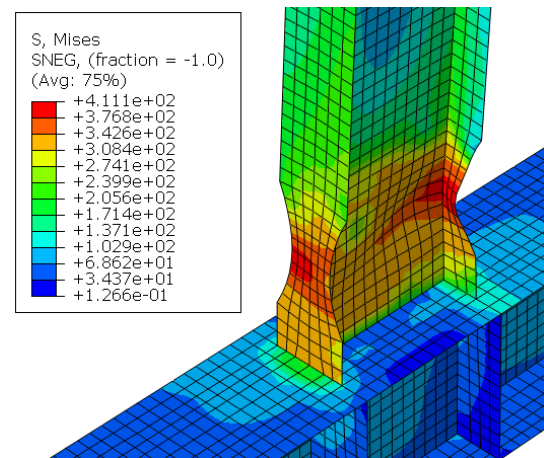
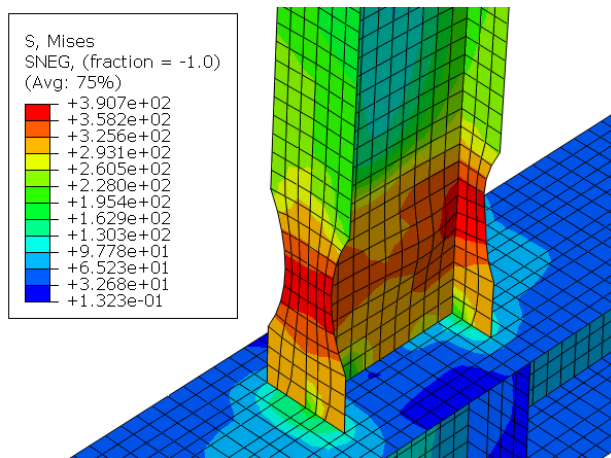


الف: مقایسه نتایج هیستریزس

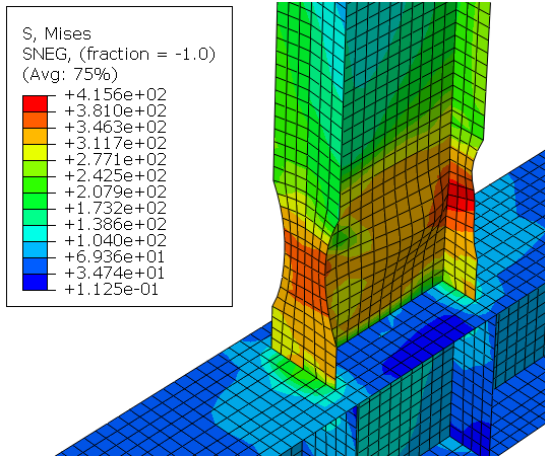
شکل 12- مقایسه نتایج منحنی هیستریزس و پوش منحنی هیستریزس آزمایش و نرم افزار

بیشترین قوس شعاعی را دارد، آغاز میشود و به جان گسترش میابد. شکل 13 کماتش های موضعی در قسمت بال کاهش یافته و جان حاصل از تحلیل تیر RBS در نرم افزار را برای مقاطع مختلف تیر RBS در دریفت 5% را نشان میدهد.

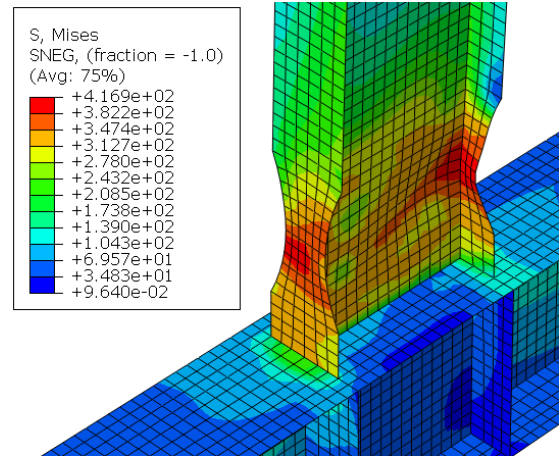
مدلسازی اجزای محدود برای مقاطع تیر IPE360 و IPE300 و IPE400 و IPE500 و IPE550 انجام شده است. در تمام این مقاطع مفصل پلاستیک در ناحیه کاهش یافته تیر تشکیل شده است. مطابق با نتایج نرم افزار کماتش ابتدا در ناحیه از بال که



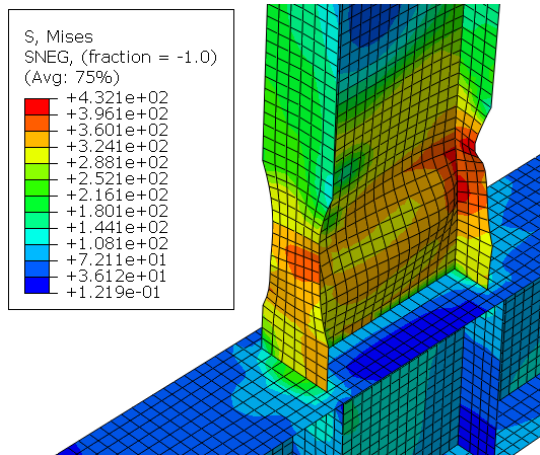
IPE300



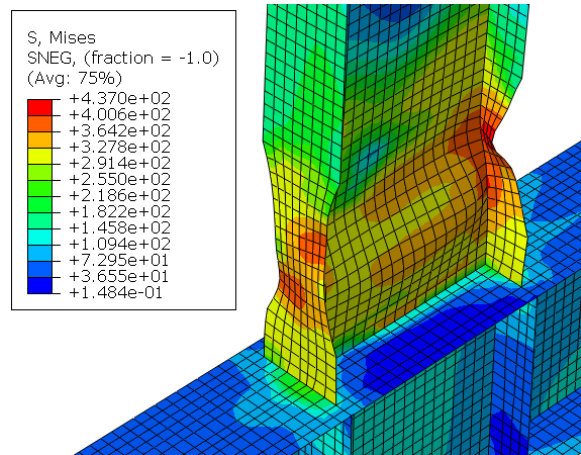
IPE360



IPE400



IPE450



IPE500

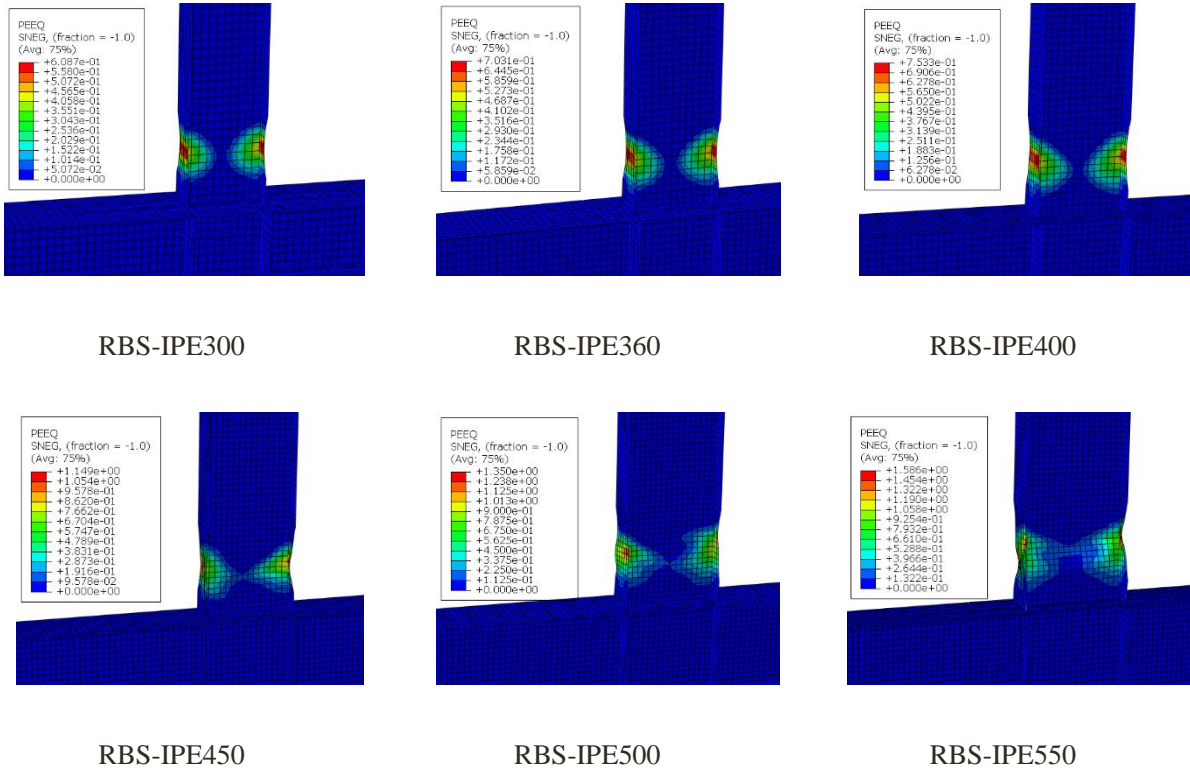
شکل 13 - کمانش محلی در نمونه های مختلف تیر RBS (در دریفت 5٪)

IPE550



برای آخرین دررفت مدلسازی شده این مقاطع میباید، مطابق با این شکل برای تمامی مقاطع مدلسازی شده از تیرهای RBS حداکثر میزان این کرنش در قسمت میانی ناحیه کاهش یافته میباید.

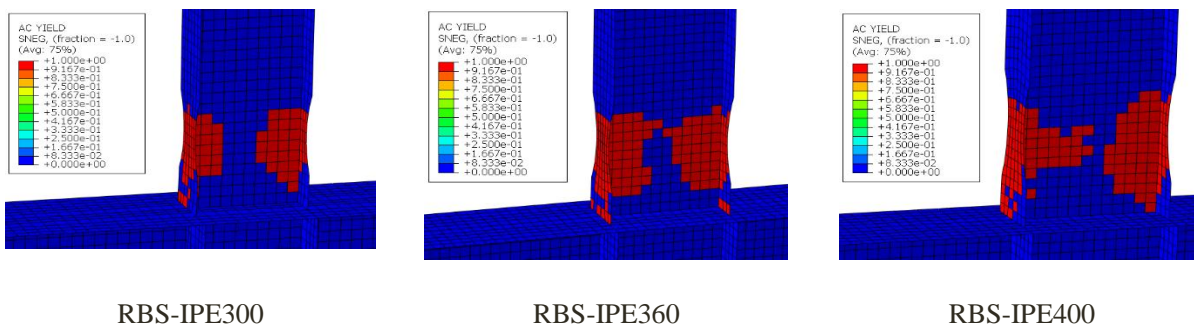
توزیع شاخص PEEQ که بیانگر پلاستیسیته شدن المان‌ها در نرم افزار است در دررفت 5٪ برای مدل‌ها تیر RBS با مقاطع مختلف در شکل 14 نشان داده شده است. این مقدار از شاخص PEEQ

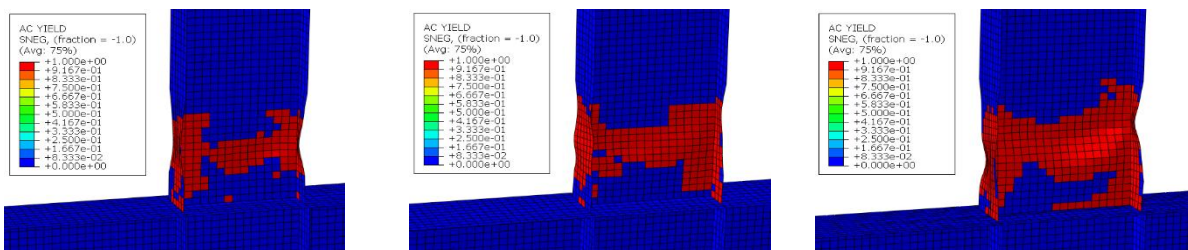


شکل 14 - توزیع شاخص PEEQ در مدل‌های RBS

مصلح رسیده‌اند. شکل 15 نتایج کرنش تسلیم را برای مقاطع مختلف تیر RBS در نظر در نرم افزار نشان میدهد.

المان‌های که کرنش در آن‌ها به حد تسلیم رسیده است در ماژول AC-Yield در نرم افزار مشخص میشود این ماژول بیانگر این میباشد که کدام المان‌ها به کرنش حد تسلیم با توجه به مشخصات





RBS-IPE450

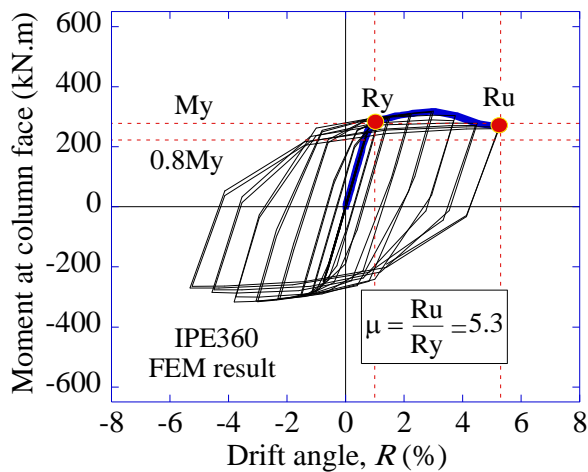
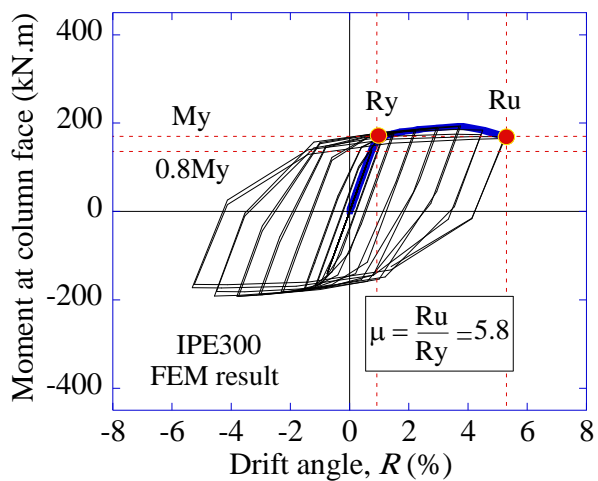
RBS-IPE500

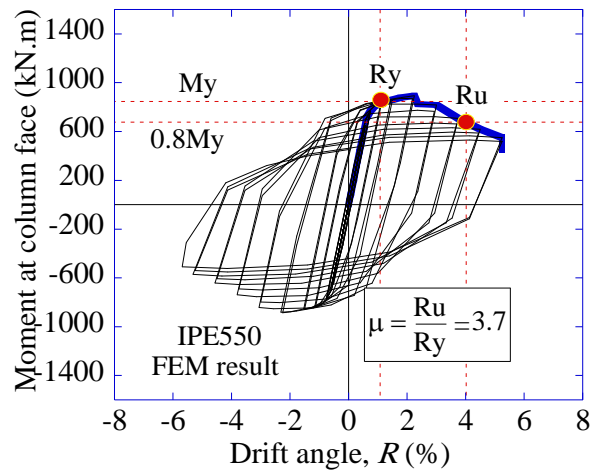
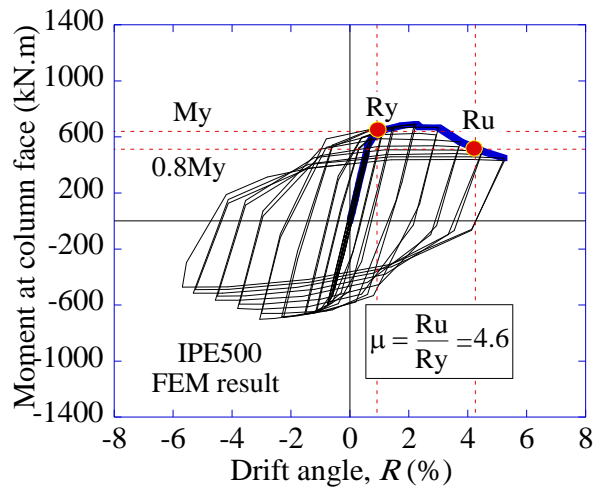
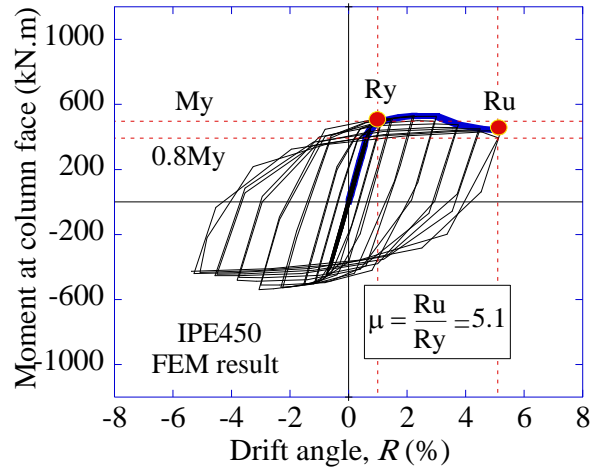
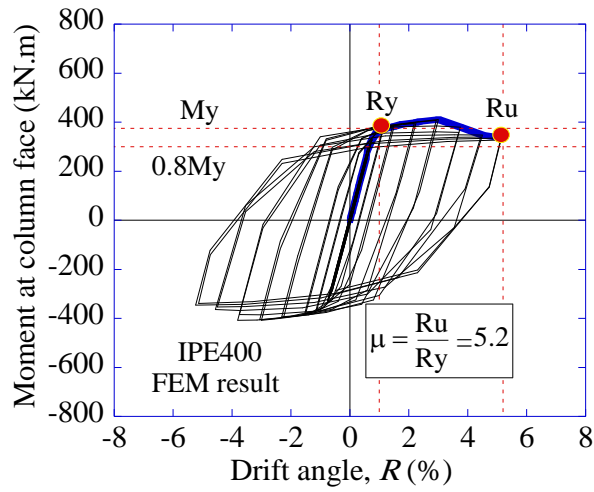
RBS-IPE550

شکل 15- المان هایی که در دررفت 5٪ به تسلیم رسیده اند در مقاطع RBS

با افزایش عمق مقطع شکل پذیری کاهش میابد به طوری که در IPE300 شکل پذیری به 5.8 میرسد، که با افزایش عمق مقطع در IPE550 شکل پذیری به مقدار 3.7 کاهش پیدا میکند. مطابق شکل 16 شکل پذیری برای مقاطع IPE300 و IPE360 و

با افزایش عمق مقطع شکل پذیری کاهش میابد به طوری که در IPE300 شکل پذیری به 5.8 میرسد، که با افزایش عمق مقطع در IPE550 شکل پذیری به مقدار 3.7 کاهش پیدا میکند. مطابق شکل 16 شکل پذیری برای مقاطع IPE300 و IPE360 و





شکل 16- منحنی‌های هیستریزی مقاطع مختلف از تیر RBS

مطابق با جدول 3 نسبت ظرفیت خمشی تمامی مقاطع تیر به ستون مدلسازی شده مشخص شده است.

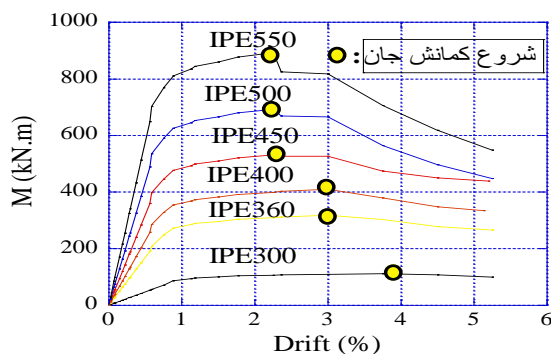


جدول 3-نسبت ظرفیت خمشی تیر به ستون

IPE	300	360	400	450	500	550
$M_{pe}(Beam) / M_{pe}(Column)$	0.33	0.37	0.39	0.42	0.45	0.48

درصد دچار زوال میشوند. جان در ناحیه کاهش یافته در تیر با مقاطع IPE450 و IPE500 در دررفت 2.25 درصد دچار کماتش خارج از صفحه میشود و در این دررفت پوش منحنی هیستریزس این مقاطع دچار زوال میشود. همچنین جان تیر با مقطع IPE550 در دررفت 2.23 درصد دچار کماتش خارج از صفحه شده و پوش منحنی هیستریزس لنگر دررفت این مقطع تیر در دررفت 2.23 درصد دچار زوال میشود.

در شکل 17 پوش منحنی‌های هیستریزی برای تیر با مقاطع IPE300 و IPE360 و IPE400 و IPE450 و IPE500 و IPE550 مقایسه شده است. مطابق با این منحنی IPE300 در دررفت 3.75 درصد جان دچار کماتش خارج از صفحه شده و پوش منحنی هیستریزس لنگر به دررفت در این مقطع از تیر دچار زوال میشود. جان در ناحیه کاهش یافته تیرها با مقاطع IPE360 و IPE400 در دررفت 3 درصد دچار کماتش خارج از صفحه میشوند و پوش منحنی هیستریزس لنگر دررفت در این مقاطع در دررفت 3



شکل 17- مقایسه پوش هیستریزس مقاطع مختلف از تیر RBS

محلّی در ناحیه کاهش یافته تیرهای RBS ابتدا در بال ناحیه کاهش یافته آغاز میشود و سپس به جان تیر کشیده میشود. کماتش‌های خارج از صفحه برای مقطع تیر IPE300 در دررفت 3.75٪ آغاز میشود. برای تیر با مقطع IPE360 و IPE400 کماتش‌های خارج از صفحه در ناحیه کاهش یافته در دررفت 3٪ آغاز میشود. کماتش‌های خارج از صفحه تیرها با مقاطع IPE450 و IPE500 در دررفت 2.25٪ آغاز میشود و کماتش‌ها در ناحیه کاهش یافته تیر با مقطع IPE550 در دررفت 2.23٪ آغاز میشود. همچنین با افزایش عمق مقطع شکل پذیری کاهش میابد.

6- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با توجه به حساسیت ناحیه کاهش یافته در تیرهای RBS مقاطع مختلفی شامل IPE های با ابعاد مختلف تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار داده شده است. طول مفصل پلاستیک در تیرهای RBS برابر با طول ناحیه کاهش یافته در این تیرها میباشد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد در مقاطع با ابعاد کوچکتر (IPE300 و مقاطع کوچکتر) در دررفت‌های پایین‌تری نسبت به مقاطع بزرگتر (IPE500 و مقاطع بزرگتر) دچار کماتش‌های خارج از صفحه در ناحیه کاهش یافته تیرهای RBS میشوند. کماتش‌های

7-مراجع

- [1] Engelhardt MD, Fry GT, Jones S, Venti M, Holiday S. *Behavior and design of radius-cut-reduced beam section connections*. SAC Background Document SAC. BD-00; 2000.
- [2] Uang C.M, Yu K, Noel Sh, Gross J. "Cyclic testing of steel moment connections rehabilitated with RBS or welded haunch." *Journal of Structural Engineering* 126.1 (2000): 57-68.
- [3] Roeder CW. *Connection performance for seismic design of steel moment frames*. *Journal of Structural Engineering*. 2002 Apr;128(4):517-25.
- [4] Lee CH, Jeon S, Kim JH, Uang CM. *Effects of panel zone strength and beam web connection method on seismic performance of reduced beam section steel moment connections*. *Journal of Structural Engineering*. 2005 Dec;131(12):1854-65.
- [5] گرامی محسن، غزنوی اسکوئی ا، بررسی اثر اتصال RBS در سختی اتصال و تغییر مکان جانبی، سومین کنگره ملی مهندسی عمران، تبریز، 1386.
- [6] Deylami A, Moslehi Tabar A, *Promotion of cyclic behavior of reduced beam section connections restraining beam web to local buckling, Thin-Walled Struct.* 73 (2013) 112–120.
- [7] Kashegane S, *Development of a closed-form 3-D RBS beam finite element and associated case studies*. *Engineering structures*, 2007. 29(7): p. 1580-1595.
- [8] Swati AK, Vesmawala G, 'Study of steel moment connection with and without reduced beam section.', *Case Studies in Structural Engineering* 1 (2014): 26-31
- [9] Morshedi M, Dolatshahi K, Maleki Sh. *Double reduced beam section connection*, *J. Constr. Steel Res.* 138 (2017) 283–297.
- [10] Fanaie N., Faegh SS, Partovi F. *An improved and innovative formulation for calculating amplified elastic story drift induced by RBS connections in steel moment frames*. *Journal of Constructional Steel Research*, 2019. 160: p. 510-527.
- [11] Hong JK, *Sloped RBS moment connections at roof floor subjected to cyclic loading: Analytical investigation*. *International Journal of Steel Structures*, 2019. 19(1): p. 329-33
- [12] Bompa D, Elghazouli AY. *Ultimate cyclic response of steel reduced beam section connections. in 3rd European Conference on Earthquake Engineering & Seismology (3ECEES)*, International Conference Center Bucharest, Romania, 2022.
- [13] Atashzaban A, Hajirasouliha I, Jazany RA, Izadnia M. *Optimum drilled flange moment resisting connections for seismic regions*. *Journal of Constructional Steel Research*. 2015 Sep 30;112:325-38.
- [14] مقدم حسین صادق، فنائی نادر. اثر سوراخکاری تیر در بهبود عملکرد اتصال صلب تیر فولادی به ستون CFT دارای سخت کننده‌های خارجی، چهارمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، تهران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دوره 4، بهمن 1395.
- [15] Kazerani S, Fanaie N, Soroushnia S, *Seismic behavior of drilled beam section in moment connections*. *Numerical Methods in Civil Engineering*, 2017.1(4): p.1-6.
- [16] اخوان سید محمد، خسروی حسین. بررسی تاثیر اشکال تیر با مقطع کاهش یافته در بال و جان (DFC-RBW-RBS) در ضریب رفتار قاب خمشی فولادی. کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران معماری و شهرسازی، تبریز، دانشگاه سراج تبریز، 1396.
- [17] FEMA, *FEMA 355 State of the Art Report on Systems Performance of Steel Moment Frames Subject to Earthquake Ground Shaking*, FEMA Washington, DC, 2000.
- [18] Davarpanah M, Ronagh H, Memarzadeh P, Behnamfar F, *Cyclic behavior of welded elliptical-shaped RWS moment frame*, *Journal of Constructional Steel Research*, (2020) .175: p. 106319.
- [19] Nazaralizadeh, H, Ronagh H, Memarzadeh P, Behnamfar F, *Cyclic performance of bolted end-plate RWS connection with vertical-slits*. *Journal of Constructional Steel Research*, 2020. 173: p. 106236.
- [20] Tabar AM, Alonso-Rodriguez A, Tsavdaridis KD, *Building retrofit with reduced web (RWS) and beam (RBS) section limited-ductility connections*. *Journal of Constructional Steel Research*, 2022. 197: p. 107459.
- [21] Zaferani AR, Javadi P, Memarzadeh P. *A hybrid-sandwiching system for buckling-restraining of reduced beam sections*. *Journal of Constructional Steel Research*, 2023. 209: p. 108026.
- [22] ANSI/AISC 358—16, *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*, American Institute of Steel Construction, Chicago, (2016), 358-316.
- [23] ANSI/AISC 341—16, *Seismic provisions for structural steel buildings*. American Institute of Steel, Construction. Chicago, (2016), 16–341

