

بهسازی اتصالات صلب فولادی متداول از طریق کاهش مقطع بال

محسن گرامی^{1*}، امین غزنوی اسکویی²

1- استادیار دانشگاه سمنان، پژوهشگر فوق دکتری سازه، دانشگاه تربیت مدرس

2- دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه دانشگاه سمنان

mgerami@semnan.ac.ir

(دریافت مقاله: اردیبهشت 1386، پذیرش مقاله: مرداد 1388)

چکیده- در زلزله‌های اخیر اتصالات بسیاری از سازه‌های فولادی که دارای سیستم مقاوم قاب خمشی بودند دچار شکستگی ترد در جوش اتصالات تیر و ستون شده‌است. بر اثر تحقیقات مشخص ساخت که بیشتر آسیب‌ها به علت ترک خوردگی جوش بین بال پایینی تیر و ورق بال ستون ایجاد شده و بال بالایی به علت اثر اندرکنشی دال بتنی کف از خود مقاومت نشان داده‌است. برای جلوگیری از ترک خوردگی جوش و در نتیجه شکست ترد اتصال، از روشهای مختلف مقاوم سازی یا بهسازی می‌توان بهره‌برد. با توجه به این نکته که بال بالایی تیر در داخل بتن کف قرار دارد و برداشتن دال کف از دیدگاه هزینه و مسائل اجرایی مشکل‌است، اجرای طرح مقاوم‌سازی در بال پایینی تیر می‌تواند بهترین گزینه جایگزین باشد. یکی از این روشها برش بال پایینی تیر در مقطع خاص است. شکل برش مانند اتصالات RBS (اتصالات با مقطع کاهش یافته بال تیر) با برش شعاعی است و با این کار، اتصال، از حالت اتصال صلب معمولی به نوعی اتصال شکل‌پذیرتر تبدیل می‌شود که توانایی تحمل چرخش پلاستیک بیشتری را داشته و شکل‌پذیری سازه در مجموع افزایش می‌یابد. با توجه به تاثیر بسیار زیاد مقاومت چشمه اتصال در رفتار لرزه‌ای و شکل‌پذیری اتصال، بررسی تاثیر این روش بر چشمه اتصال ضروری به نظر می‌رسد. بررسیهای انجام شده مشخص ساخت که ایجاد اتصال RBS در بال پایینی تیر، باعث افزایش 30% در میزان چرخش پلاستیک تیر می‌شود. همچنین نیروی واردشونده بر چشمه اتصال (با توجه به مقاومت چشمه اتصال) کاهش می‌یابد که در نتیجه باعث کاهش 52% در میزان چرخش پلاستیک در چشمه اتصال می‌شود. در این مقاله همچنین میزان تلف انرژی تیر در دو حالت قبل و بعد از بهسازی مطالعه شده‌است. برای انجام تحلیل‌ها از نرم‌افزار ANSYS استفاده شده است.

کلید واژگان: اتصال صلب فولادی، اتصال RBS، شکل‌پذیری، منحنی هیستریسیس، چشمه اتصال.

1- مقدمه

مقاومت جانبی و ظرفیت شکل پذیری از ضروری ترین عوامل حاکم بر ظرفیت لرزه‌ای ساختمان‌ها است و طرح تقویت موثر زمانی تعیین می‌شود که مقاومت نهایی و شکل‌پذیری ساختمان‌های موجود ارزیابی شود.

تقویت و بهسازی ساختمان‌های موجود با سه روش عمده صورت می‌پذیرد [3]:

(الف) ارتقاء مقاومت نهایی کل سازه؛

(ب) بهبود دادن ظرفیت تغییرشکل غیر الاستیک سازه یعنی قابلیت شکل‌پذیری؛

(ج) ترکیب موارد فوق.

این سه مفهوم بطور شماتیک در شکل (1-الف) نشان داده شده‌اند.

نکته قابل توجه اینکه شکل‌های (1-ب) و (1-ج) حدود مرزی را نشان می‌دهند و در عمل نیز در همه طرح‌ها جهت تقویت از ترکیب افزایش مقاومت و شکل‌پذیری استفاده می‌شود (شکل 1-د) [3].

روش افزایش مقاومت همانند اضافه کردن بادبند، دیوار برشی، پانل ساندویچی و ... است.

روش افزایش شکل‌پذیری شامل حالات متنوع‌تری است. یکی از روش‌ها انتقال مفصل پلاستیک به داخل تیر است.

باتوجه به استفاده فراوان از قاب‌های خمشی فولادی در طراحی‌های لرزه‌ای سازه‌ها، و با توجه به این نکته که این سازه‌ها در گذشته بر اساس ضوابط و آیین‌نامه‌هایی طراحی شده‌اند که ضوابط مربوط به نحوه تشکیل مفصل پلاستیک و نحوه گسترش آن را مورد بررسی قرار نداده‌اند، در نتیجه پس از زلزله نرتریج، تحقیقات بسمت افزایش شکل‌پذیری اتصالات صلب پیش رفت و بطور

کلی اتصالات پس از زلزله نرتریج¹، شکل گرفت. در این اتصالات هدف بطور عمده انتقال مفصل پلاستیک به داخل تیر و به یک فاصله معین از بر ستون است. بگونه‌ای که در این اتصالات دور ساختن مفصل پلاستیک از بر ستون، باعث کاهش تمرکز کرنش به‌وجود آمده در ناحیه جوش می‌شود و در نتیجه باعث کاهش میزان ترک خوردگی جوش و در نتیجه کاهش شکست ترد در اتصال می‌شود.

روش‌های متعددی برای انتقال مفصل پلاستیک پیشنهاد می‌شود. در حالت کلی این روش‌ها بدو دسته عمده تقسیم می‌شود:

1- یکسری از اتصالات پس از زلزله نرتریج بگونه‌ای طراحی شده‌اند که با افزودن اجزایی به اتصال باعث افزایش مقاومت تیر در ناحیه اتصال شده و باعث کاهش تنش در اتصال می‌شود. در نتیجه باعث انتقال مفصل پلاستیک به‌داخل تیر می‌شود و از چرخش اجزای اتصال نسبت به هم (تیر نسبت به ستون) جلوگیری می‌کنند که در نتیجه تنش کمتری در ناحیه جوش ایجاد می‌شود. استفاده از ماهیچه² و یا پشت بند³ و ... از این دسته‌اند.

2- در روش دوم با کاهش مقاومت تیر در بخش‌های مشخصی از تیر، باعث تضعیف تیر در یک ناحیه مشخص و از پیش تعیین شده گشته که در نتیجه مفصل پلاستیک در این ناحیه تشکیل شده و از بر ستون به داخل تیر منتقل می‌شود. انواع اتصالات RBS از این دسته‌اند.

برای مقاوم‌سازی و یا بهسازی رفتار اتصالات در برابر نیروی زلزله از هر دو روش می‌توان بهره جست. هر کدام

1. Post-northridge

2. Haunch

3. Rib

از این دو روش دارای مزایا و معایبی هستند که قبل از انتخاب جزئیات مناسب برای بهسازی لرزه‌ای اتصال باید به‌طور کامل بررسی شوند.

یکی از پارامترهای بسیار تاثیرگذار در روند مقاوم‌سازی و بهسازی لرزه‌ای اتصالات فولادی، تاثیر مقاومت چشمه اتصال¹ است. به فصل مشترک تیر و ستون، چشمه اتصال می‌گویند. تحقیقات بسیاری بر روی اثر چشمه اتصال بر رفتار لرزه‌ای اتصالات انجام شده اما تحقیقاتی درباره تاثیر چشمه اتصال بر روند بهسازی رفتار اتصالات انجام نشده است. علت آن شاید ضخامت زیاد جان ستون در مقاطع متداول در آزمایش‌های انجام شده در جهان باشد (مقاطع آمریکایی WXX) که در نتیجه باعث کم اهمیت شدن تاثیر چشمه اتصال می‌شود؛ زیرا در بیشتر این مقاطع ضخامت جان ستون زیاد است. در صورتی که در مقاطع I شکل اروپایی و مقاطع بال پهن (H شکل) اروپایی که در ایران متداول است، ضخامت جان کمتر از مقاطع آمریکایی است، در نتیجه تاثیر چشمه اتصال بیشتر نمایان می‌شود. اصولاً یکی از معیارهای انتخاب طرح مقاوم‌سازی اتصالات خمشی، مقاومت چشمه اتصال است. زیرا اگر چشمه اتصال بسیار ضعیف باشد، اجرای هرگونه طرح بهسازی برای اتصالات فولادی بی‌فایده خواهد بود.

از طرف دیگر تقویت چشمه اتصال، بسیار پرهزینه، دشوار و پیچیده است. در نتیجه در اینجا به بررسی یکی از طرح‌های بهسازی اتصال در قاب خمشی ویژه فولادی پرداخته می‌شود. همانگونه که پیشتر گفتیم برش بال تیر یکی از روشهای بهسازی رفتار اتصالات در برابر نیروی زلزله است. برش بال تیر در ناحیه‌ای نزدیک ستون و در فاصله‌ای مشخص و با جزئیات مشخصی صورت

می‌پذیرد. این نوع اتصال در جهان با نام RBS و در ایران با نام اتصال استخوانی² شناخته می‌شود.

آزمایش‌های متعددی بر روی این اتصال هنگام استفاده در قابهای خمشی ویژه انجام شده و روابط نحوه برش در بال تیر و جزئیات آن در گزارش‌های FEMA ارائه شده است [6] و [7]. اتصال RBS انواع مختلفی داشته و دارای سه حالت برش متداول در بال تیر است. در اینجا به بررسی اتصال RBS در بال پایینی که برش شعاعی دارد، پرداخته شده است.

مزایای ایجاد اتصال RBS در بال پایینی عبارت‌اند از:

- 1- کاهش نیروی برشی وارد شونده به چشمه اتصال؛
- 2- کاهش نیروی وارد شونده به ورق‌های پیوستگی؛
- 3- برای اطمینان از وجود رابطه تیر ضعیف - ستون قوی؛
- 4- افزایش کارایی اتصال با کاهش تنش در جوش شیاری متصل کننده بال تیر به بال ستون.

با توجه به این نکته که تمامی آزمایش‌های انجام شده در جهان روی مقاطع آمریکایی بوده و در ایران استفاده از این مقاطع متداول نیست، بررسی تاثیر روش بالا بر روی پروفیل‌های متداول در ایران ضروری به نظر می‌رسد.

بنابراین در اینجا به بررسی تاثیر ایجاد اتصال RBS در بال پایینی بر روی رفتار لرزه‌ای اتصال پرداخته شده است.

2- روند طراحی اتصال RBS

برای طراحی اتصال RBS با برش شعاعی از روابط پیشنهادی FEMA استفاده می‌شود (روابط ۱ و ۲ و ۳) [۷].

$$a \approx (0.5 \sim 0.75)b_f \quad (1)$$

$$b \approx (0.65 \sim 0.85)d \quad (2)$$

$$c \approx (0.2b_f \sim 0.25b_f) \quad (3)$$

$$R = \frac{4c^2 + b^2}{8c} \quad (4)$$

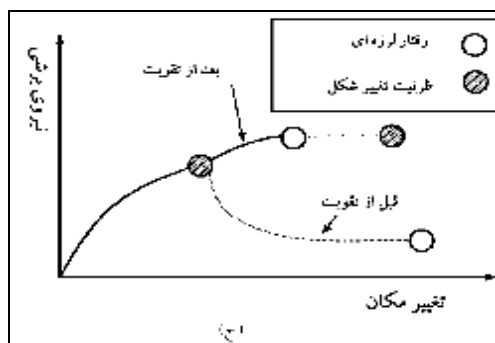
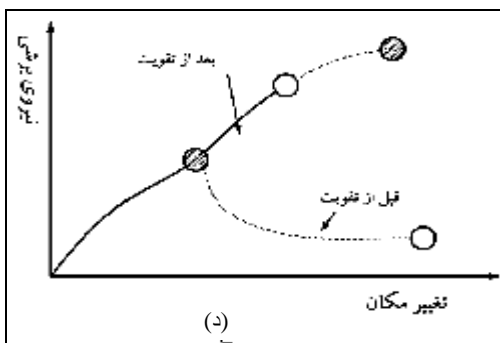
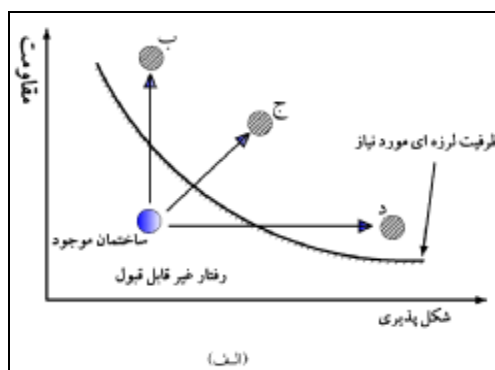
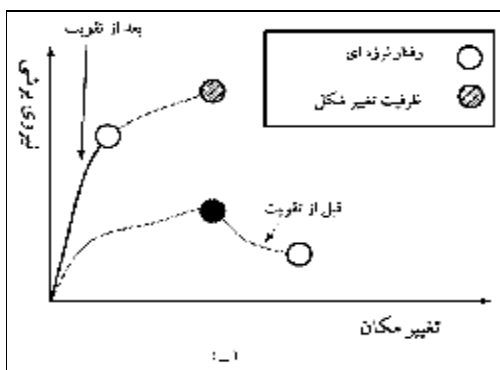
که در آن a, b, c, R به ترتیب برابر با شعاع برش و میزان برش حداکثر و طول برش و فاصله ابتدای ناحیه بریده شده تا بر ستون است (شکل شماره 2). همچنین d, b_f به ترتیب برابر با عرض بال تیر و ارتفاع مقطع تیر است [7].

به علت عدم دسترسی به بال بالایی تیر که معمولاً در دال بتنی مدفون است و پر هزینه بودن تخریب دال و برش بال بالایی، برای بهسازی اتصالات قاب‌های خمشی موجود، از اتصال RBS در بال پایینی استفاده می‌شود. مشخصات برش در این حالت همانند زمانی است که هر دو بال دارای بریدگی هستند.

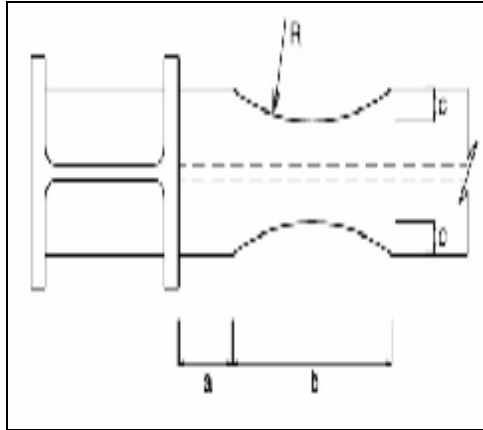
بر اساس تمهیدات FEMA، حداکثر میزان کاهش مقطع بال تیر برابر با 50% می‌باشد، که در این مقاله نیز حداکثر کاهش، به همین

یافتن رفتار اتصال می‌گردد؛ اما کاهش بیش از این مقدار می‌تواند مشکلات عدیده‌ای را برای پایداری تیر فراهم آورد (کمانش جان تیر، کمانش پیچشی بال تیر و ... [8] و [9]. در نتیجه حداکثر می‌توان 50% مقطع بال پایینی تیر را کاهش داد که این میزان برش باعث کاهش در اساس مقطع پلاستیک نمونه به میزان 19% می‌شود [8].

در مدل‌های استفاده شده در این مقاله از میزان برش 50% استفاده شده و میزان $C = 0.25b_f$ مورد استفاده قرار گرفته است. مقادیر برش و ابعاد a, b, c, R در جدول (1) موجود است. برش ایجاد شده باعث کاهش بسیار ناچیزی در سختی می‌گردد. میزان کاهش سختی برای برش هر دو بال 4% ~ 5% است [11].



شکل 1 رابطه عکس العمل زمین لرزه قبل و بعد از تقویت؛ الف) مفهوم اساسی تقویت لرزه‌ای، ب) افزایش مقاومت، ج) افزایش شکل پذیری، د) افزایش مقاومت و شکل پذیری



شکل 2 پارامترهای طراحی در اتصال با برش شعاعی

جدول 1 مشخصات مقطع در اتصال RBS

تیر	a	b	c	R
IPE ۳۳۰	۱۰ cm	۲۶ cm	۴ Cm	۲۳/۱۲۵ cm

۳- طراحی چشمه اتصال

طراحی طوری انجام شده که چشمه اتصال در حالت تعادل باشد. برای کنترل حالت تعادل، نسبت $\frac{V_{pz}}{V_y}$ کنترل می‌شود. V_y و V_{pz} به ترتیب از رابطه (5) و (6) به دست می‌آید. V_y حد نهایی برش در چشمه اتصال است که از رابطه (5) به دست می‌آید که در آیین‌نامه ایران از ضریب 0/55 استفاده شده [1] و [2] و در آیین‌نامه AISC این ضریب برابر 0/6 است [5] (رابطه‌های 5 و 6). V_{pz} در اتصالات معمول که محل تشکیل مفصل پلاستیک در بر ستون است، از رابطه (7) به دست می‌آید در صورتی که در اتصال RBS، V_{pz} از رابطه (8) به دست می‌آید [4و6]:

$$V_y = 0.55F_y d_c t_{cw} \left(1 + \frac{3b_c t_f^2}{d_b d_c t_{cw}} \right) \quad (5)$$

$$V_y = 0.6F_y d_c t_{cw} \left(1 + \frac{3b_c t_f^2}{d_b d_c t_{cw}} \right) \quad (6)$$

$$V_{pz} = \sum \frac{M_{yb}}{d_b - t_{fb}} \left(\frac{L}{L - d_c} \right) \left(\frac{h - d_b}{h} \right) \quad (7)$$

$$V_{pz} = b_E \sum M_p \left[\frac{1}{0.95d_b} - \frac{L_b + d_c/2}{L_b} \frac{1}{H} \right] \quad (8)$$

که در آن F_y و d_c و t_{cw} و t_f و d_b و L_b و H و M_{yb} و M_p و b_E به ترتیب برابر با تنش جاری شدگی چشمه اتصال، ارتفاع ستون، ضخامت چشمه اتصال، ضخامت بال ستون، ارتفاع تیر، طول دهانه تیر، ارتفاع ستون، مجموع لنگرهای وارد شونده بر ستون از طرف تیر، لنگر پلاستیک تیر (مقطع کاهش نیافته) و ضریب لنگر در اتصال کاهش یافته است.

4- مدل‌سازی اتصال در نرم افزار ANSYS

آنالیز رفت و برگشتی¹ یکی از انواع آنالیزها است که معمولاً برای بررسی زیرسازه‌ها² مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای مدل‌سازی نمونه از یک زیرسازه صلیبی (+) استفاده شده است (شکل 3- الف). برای مقطع تیر از پروفیل IPE330 و برای مقطع ستون از پروفیل IPB260 استفاده شده است.

از دو ورق مضاعف به ضخامت 1cm برای تقویت چشمه اتصال استفاده شده است (ظرفیت چشمه اتصال متناسب با ظرفیت پلاستیک تیر است و چشمه اتصال در حالت تعادل قرار دارد). همچنین از ورق پیوستگی در مدل‌سازی استفاده شده و ضخامت ورق پیوستگی برابر با ضخامت بال تیر در نظر گرفته شد. دو مدل، یکی دارای اتصال SMF است و دیگری توسط برش در بال پایینی مقاوم‌سازی شده است. هر دو مدل توسط اتصال مستقیم بال تیر به ستون طراحی شده‌اند. همچنین در مدل‌سازی، ورق‌های منتقل کننده برش از جان تیر به بال ستون نیز طراحی شده است [2].

برای مدل‌سازی از المان صفحه‌ای SHELL43

استفاده شد که دارای چهار گره و هر گره دارای شش درجه آزادی است (سه درجه آزادی انتقالی و سه درجه آزادی دورانی). همچنین دارای خواص غیرخطی و تغییرشکل بزرگ است. با توجه به این نکته که در این زیرسازه تمرکز تنش و کرنش در ناحیه اتصال و چشمه اتصال است، از مش‌بندی ریزتری در این نواحی استفاده شد. سپس مدل‌ها تحت بارگذاری رفت و برگشتی قرار گرفت‌اند. نمودار بارگذاری در شکل (3- ب) مشاهده می‌شود [6].

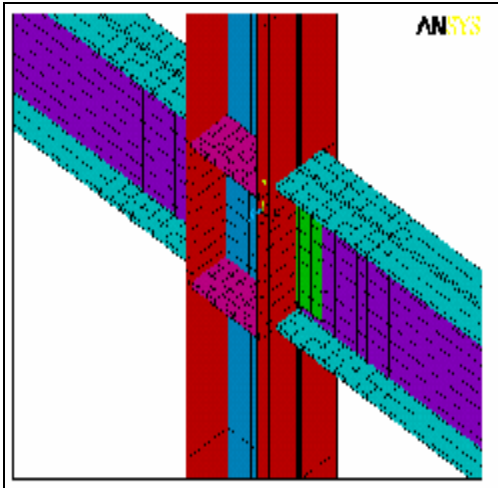
در رابطه (8)، $b_E M_p$ حداکثر نیاز لرزه‌ای در بر ستون بوده که بر پایه تحقیقات Engelhardt (1998)، b_E بین 0/85 تا 1 است [10]. در این تحقیقات b_E برابر واحد در نظر گرفته شده است. اگر $\frac{V_{pz}}{V_y}$ بیش از 0/9 باشد، چشمه اتصال ضعیف بوده و جاری شدگی، ابتدا از چشمه اتصال شروع می‌شود [7 و 6]. تحقیقات Chi, Tawil, Kunnath نشان داد که تغییر شکل زیاد در چشمه اتصال که بر اثر جاری شدن چشمه اتصال به دست می‌آید، باعث افزایش احتمال ترک در اتصال شده و همچنین باعث کاهش ظرفیت در چرخشهای بزرگ می‌شود [7 و 6]. پیشنهاد FEMA برای این نسبت، بین 0/6 تا 0/9 است [7 و 6]. اما هر چه این نسبت به 0/9 نزدیکتر باشد، اتصال رفتار متعادل‌تری دارد. همان‌گونه که در جدول (2) مشاهده می‌شود، با ایجاد اتصال RBS این نسبت کاهش می‌یابد که در نتیجه با استفاده از روابط تئوری مقاوم‌سازی باعث عملکرد بهتر اتصال می‌گردد.

جدول (2) مشخصات چشمه اتصال

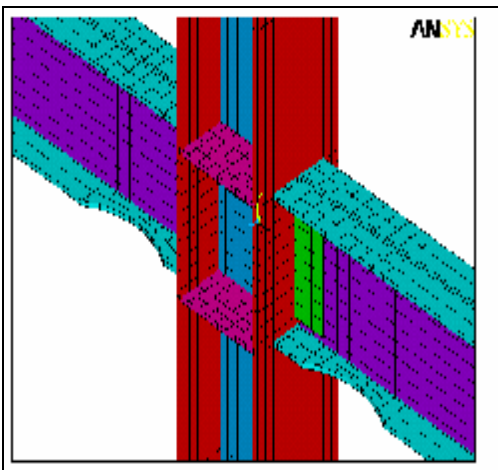
نوع اتصال	ورق پیوستگی	ورق مضاعف	V_{pz} (ton)	V_y (ton)	V_{pz}/V_y
SMF	1/2	2x1 Cm	115/2	112/5	1/024
RBS	1/2	2x1 Cm	109/6	112/5	0/974

1. cyclic
2. Sub structure

برای مدل‌سازی جوش‌های گوشه (که متصل کننده ورق برشی به جان تیر است) از المان SHELL43 استفاده شده بگونه ای که ضخامت ورق متصل کننده برابر با اندازه ضخامت گلوی جوش است که تقریب قابل قبولی دارد. نحوه مدل‌سازی و مش‌بندی انجام شده در شکل (4) مشخص است.

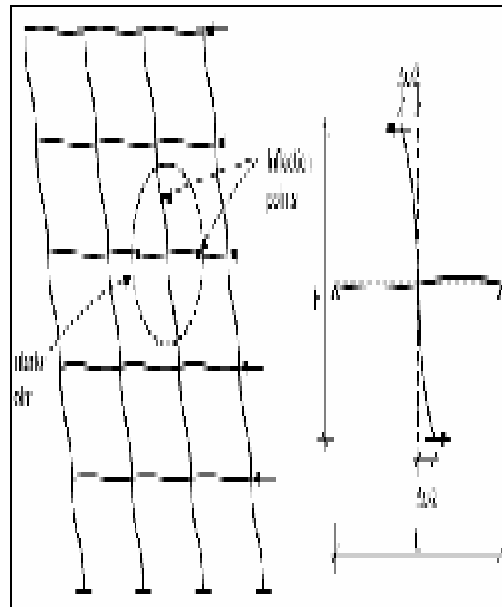


(الف)

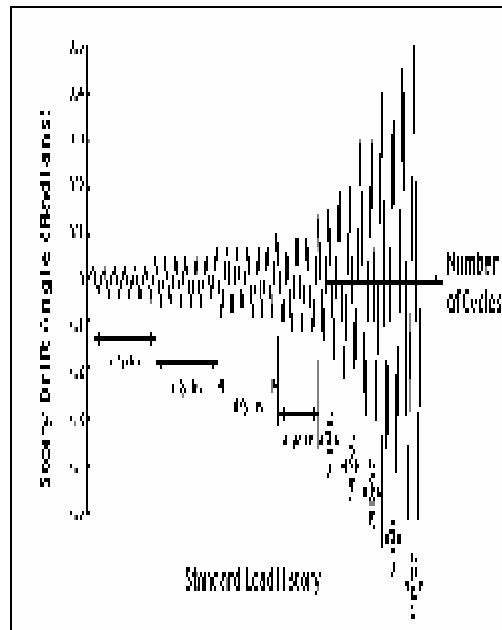


(ب)

شکل 4 نمونه‌های تحلیل شده: الف) نمونه SMF، ب) نمونه دارای اتصال RBS در بال پایینی تیر

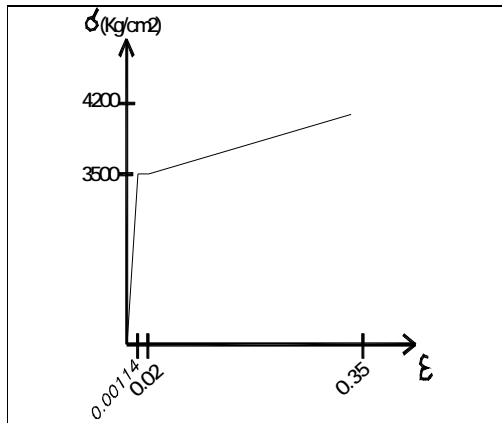


(الف)



(ب)

شکل 3 الف) زیرسازه به کار رفته در مدل‌سازی، ب) تاریخچه بارگذاری مورد استفاده در تحلیل



(ب)

شکل 5 نمودار تنش- کرنش؛ الف) فولاد بکار گرفته شده در مدل‌سازی، ب) جوش در مدل‌سازی

4-2- شرایط مرزی زیرسازه

با توجه به صفر بودن لنگر در ناحیه وسط دهانه تیر و ستون، می‌توان شرایط مرزی را تعیین کرد. با توجه به مدل‌سازی زیرسازه صلیبی (که نیمی از تیر و ستون در دو طرف مدل‌سازی شده) از غلطک در دو طرف زیرسازه استفاده شده است. برای جلوگیری از حرکت صلب زیرسازه، پایین ستون علاوه بر مهار در جهت قائم، باید در جهت افقی نیز مهار شود. در نتیجه نوک پایینی ستون با استفاده از تکیه گاه مفصلی مدل‌سازی شده است.

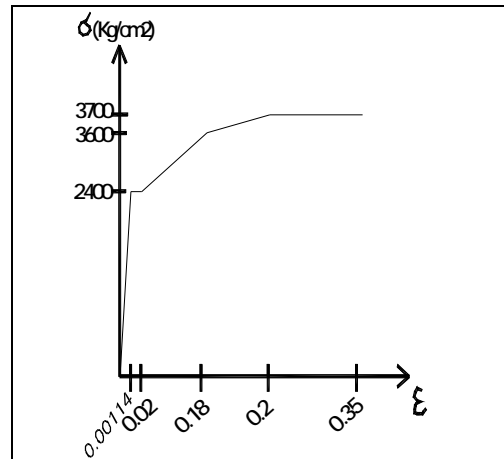
5- بررسی نتایج به دست آمده

5-1- مقایسه منحنی هیسترسیس به دست آمده

منحنی‌های هیسترسیس به دست آمده توسط نرم افزار برای نمونه‌های مورد نظر در شکل (6) نمایان است. لنگر در بر ستون اندازه‌گیری شده، و زاویه تغییر مکان جانبی داخلی¹ سازه از تقسیم تغییر مکان جانبی بالای زیرسازه بر ارتفاع کل زیرسازه به دست می‌آید.

4-1- مدل‌سازی مصالح

نمودارهای تنش-کرنش فولاد و جوش مدل‌سازی شده به ترتیب مطابق شکل (5- الف و ب) است. برای مدل‌سازی قسمت اول خط از مدول الاستیسیته برابر $2/1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ استفاده شده است. شیب قسمت دوم برابر $0/02$ ناحیه الاستیک در نظر گرفته شد. میزان تنش جاری شدگی فولاد برابر با 2400 Kg/cm^2 و میزان تنش نهایی آن برابر 3700 Kg/cm^2 در نظر گرفته شد. برای مدل‌سازی جوش از میزان تنش جاری شدگی 3500 Kg/cm^2 و تنش نهایی 4200 Kg/cm^2 استفاده شد.

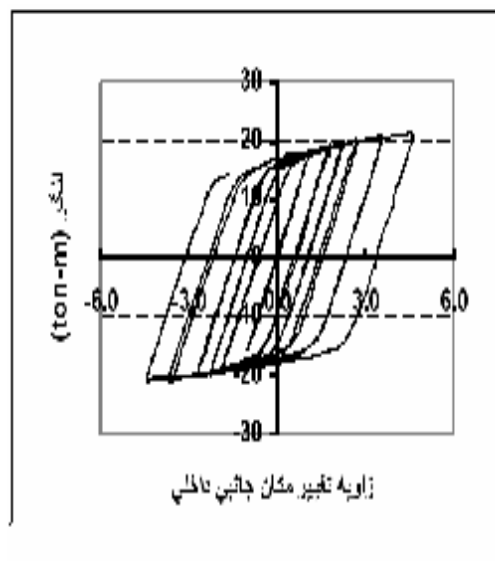


(الف)

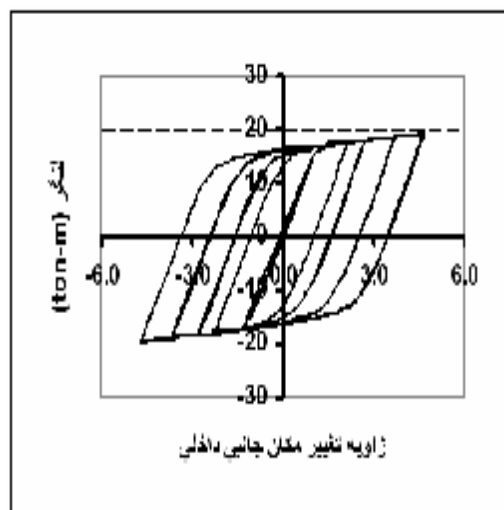
1. Inter Story Drift Angle

با توجه به ظرفیت پلاستیک $19/30 \text{ t.m}$ تیر، نسبت حداکثر لنگر وارده به ظرفیت مقطع برای اتصال SMF و RBS به ترتیب برابر $1/10$ و $1/01$ است. به عبارت دیگر افزودن اتصال RBS در بال پایینی باعث کاهش لنگر وارده به اتصال و در نتیجه کاهش نیروی برشی وارده به چشمه اتصال می شود. در نتیجه نسبت لنگرها $0/92$ است؛ یعنی $0/80$ کاهش در لنگر وارده از طرف تیر به ستون رخ داده است. همانگونه که در شکل (7) مشخص است، حداکثر تنش به دست آمده برای اتصال SMF در تیر و در بر ستون، و در تیر بهسازی شده در فاصله مشخص و از پیش تعیین شده است. همچنین تاثیر برش بال تیر بر روی نحوه گسترش مفصل پلاستیک به خوبی مشهود است. در شکل (8) نمودار لنگر در مقابل چرخش پلاستیک در تیر مشاهده می شود. حداکثر چرخش در اتصال SMF برابر $0/025$ رادیان و در نمونه بهسازی شده برابر $0/033$ رادیان است. در نتیجه ایجاد اتصال RBS باعث افزایش 30% چرخش پلاستیک تیر گشته است. به عبارت دیگر ایجاد اتصال RBS باعث افزایش گسترش مفصل پلاستیک در تیر می شود.

همچنین حداکثر تنش برشی در مدل بهسازی شده نسبت به مدل SMF در چشمه اتصال و جان تیر $0/04$ کاهش یافته است. در مورد چشمه اتصال نیز ایجاد ناحیه کاهش یافته باعث کاهش بسیار چشمگیری در چرخش پلاستیک چشمه اتصال می شود. میزان چرخش در اتصال معمولی برابر $0/025$ رادیان، و در مدل دارای اتصال RBS در بال تحتانی، حداکثر چرخش برابر $0/012$ رادیان است. در نتیجه کاهش 52% در چرخش چشمه اتصال به وجود می آید. منحنی هیستریسیس به دست آمده برای چشمه اتصال هر دو نمونه در شکل (9) مشاهده می شود.



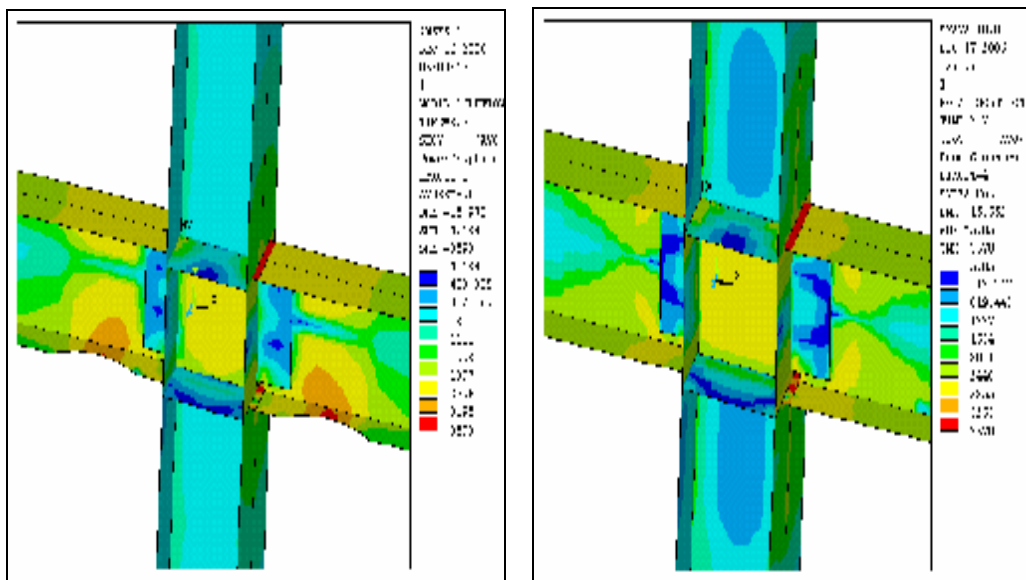
(الف)



(ب)

شکل 6 منحنی لنگر - زاویه تغییر مکان جانبی داخلی نمونه های تحلیل شده؛ الف) نمونه SMF، ب) نمونه RBS

با توجه به این نمودار مشخص می شود که حداکثر لنگر وارده از طرف تیر در بر ستون در دو نمونه برای اتصال معمولی برابر $21/15 \text{ t.m}$ و برای اتصال دارای برش در بال پایین برابر با $19/54 \text{ t.m}$ است.

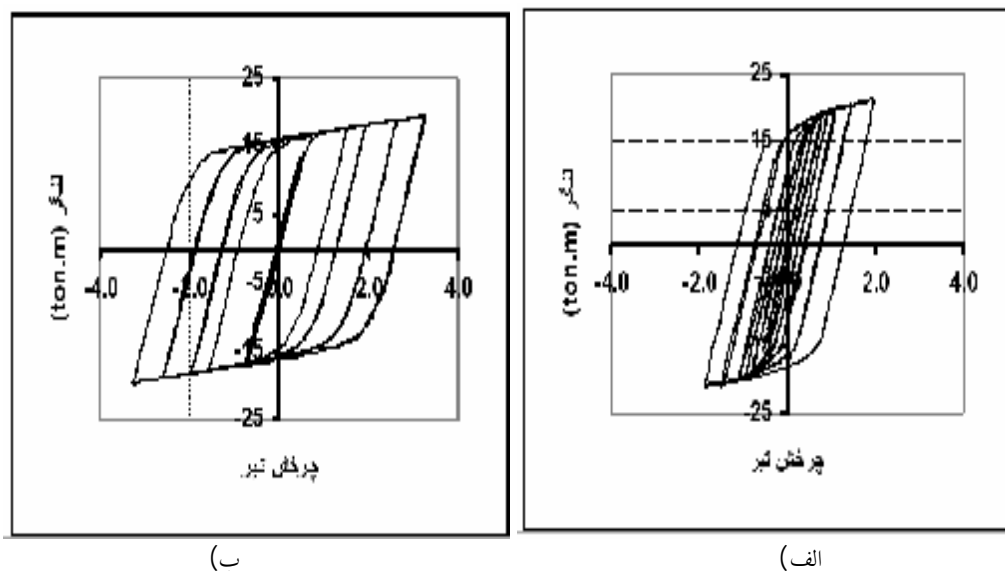


(ب)

(الف)

شکل 7 تنشهای معیار فون میسز در زاویه تغییر مکان جانبی داخلی 0/047:

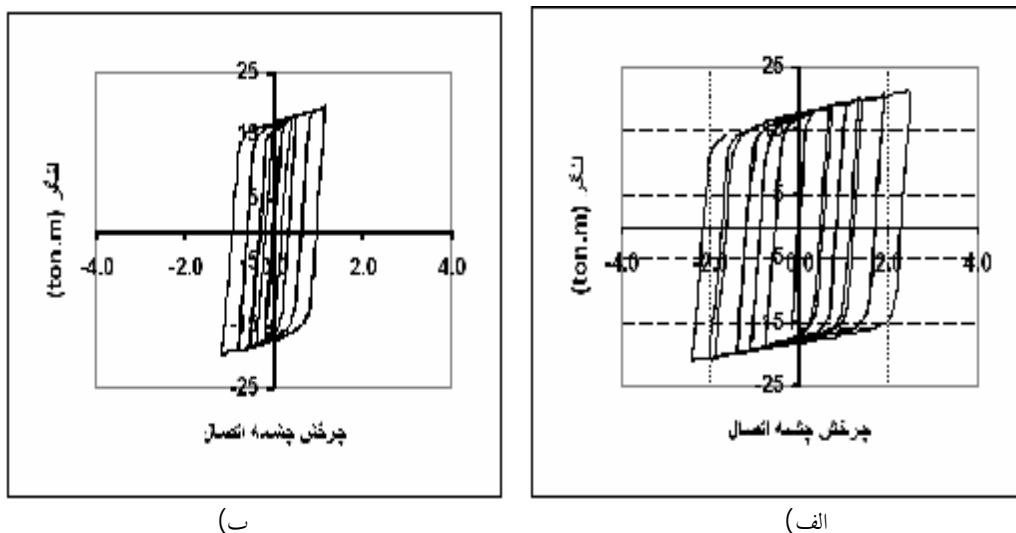
(الف) نمونه SMF، (ب) نمونه RBS



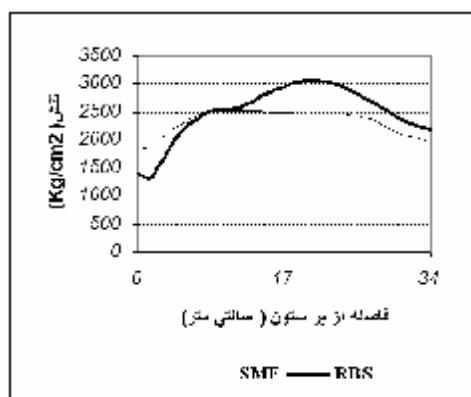
(ب)

(الف)

شکل (8) منحنی لنگر - چرخش پلاستیک تیر برای نمونه‌های؛ (الف) نمونه SMF، (ب) نمونه RBS



شکل (9) منحنی لنگر - چرخش برای چشمه اتصال نمونه‌های تحلیل شده؛ الف (نمونه SMF، ب) نمونه RBS



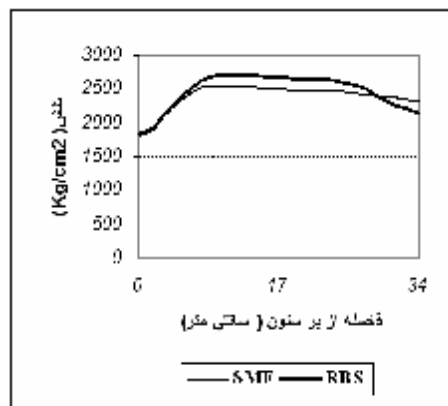
(ب)

شکل 10 نمودار تنش فونمیسز در طول خط مرکزی تیر؛
الف) بال بالایی تیر سمت راست، ب) بال پایینی تیر سمت راست

2-5- مقایسه نمودارهای تنش در طول خط

مرکزی تیر

در این قسمت به مقایسه نمودارهای تنش فونمیسز در طول خط مرکزی تیر پرداخته شده است؛ یعنی در طول قسمتی از تیر که اتصال RBS در بال پایینی آن ایجاد شده است، پرداخته می‌شود (در محل اتصال بال تیر به جان تیر و در طول a+b در شکل ۲).



(الف)

با توجه به این که مقادیر تنش، کرنش و انرژی تلف شده در نزدیک محل اتصال قابل توجه است، به بررسی نمودارهای به دست آمده پرداخته شده است. با بررسی نمودارهای تنش فونمیسز (شکل‌های 10 و 11) مشخص شد که ایجاد اتصال RBS در بال پایینی تیر روی نمودار تنش فونمیسز بال

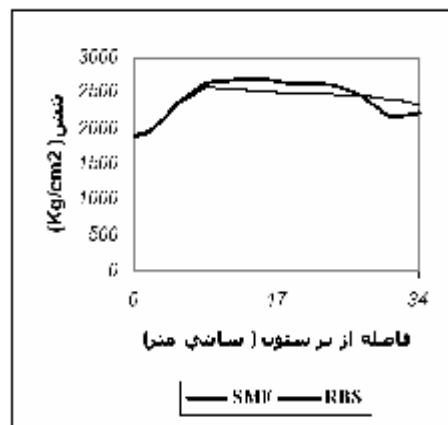
RBS باعث افزایش تنش در ناحیه کاهش یافته می‌شود، اما باعث کاهش تنش در ناحیه تیر بین اتصال RBS و ستون می‌شود (در طول a در شکل 2). اما در بال پایینی ایجاد اتصال RBS باعث افزایش قابل توجهی در تنش حداکثر به وجود آمده در خط مرکزی تیر می‌شود. این میزان افزایش در تیر سمت راست برابر با 23% است. در تیر سمت چپ نیز همین روند وجود دارد با این تفاوت که حداکثر میزان افزایش برابر با 26% است.

5-3- مقایسه نمودارهای انرژی در طول خط مرکزی تیر

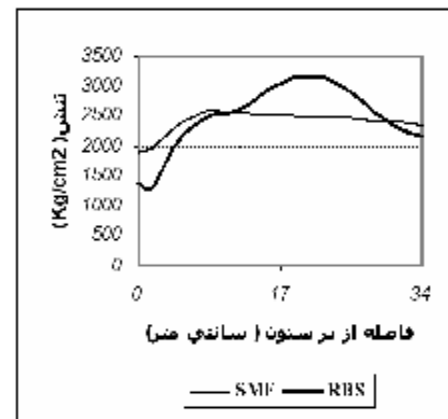
در این قسمت به مقایسه نمودارهای انرژی تلف شده در طول خط مرکزی تیر می‌پردازیم. با توجه به این که مقادیر تنش و کرنش و انرژی تلف شده در نزدیک محل اتصال قابل توجه است، در این بخش به بررسی نمودارهای به دست آمده در طول قسمتی که اتصال RBS ایجاد شده، می‌پردازیم (در محل اتصال بال تیر به جان تیر و در طول a+b در شکل 2). نمودارهای انرژی تلف شده در شکل‌های (12) و (13) مشاهده می‌شود. با توجه به این نمودارها مشخص می‌شود که تاثیر ایجاد اتصال RBS در بال پایینی تیر بر مقادیر حداکثر انرژی تلف شده در بال بالایی تیر زیاد نیست و فقط باعث افزایش میزان انرژی تلف شده در طول ناحیه کاهش یافته تیر می‌گردد. همانگونه که مشاهده می‌شود، در انتهای ناحیه کاهش یافته میزان انرژی تلف شده در تیر دارای اتصال SMF بسیار ناچیز است. در صورتی که در تیر دارای اتصال RBS این مقدار قابل توجه است.

اما در بال پایینی، ایجاد اتصال RBS باعث افزایش قابل توجهی در میزان انرژی تلف شده حداکثر به وجود

بالایی تیر، تاثیر زیادی ندارد و فقط باعث افزایش میزان تنش در اطراف ناحیه کاهش یافته تیر می‌شود. این نمودارها در زاویه تغییر مکان جانبی 4/7% به دست آمده و تنش در انتهای ناحیه کاهش یافته است.



(الف)



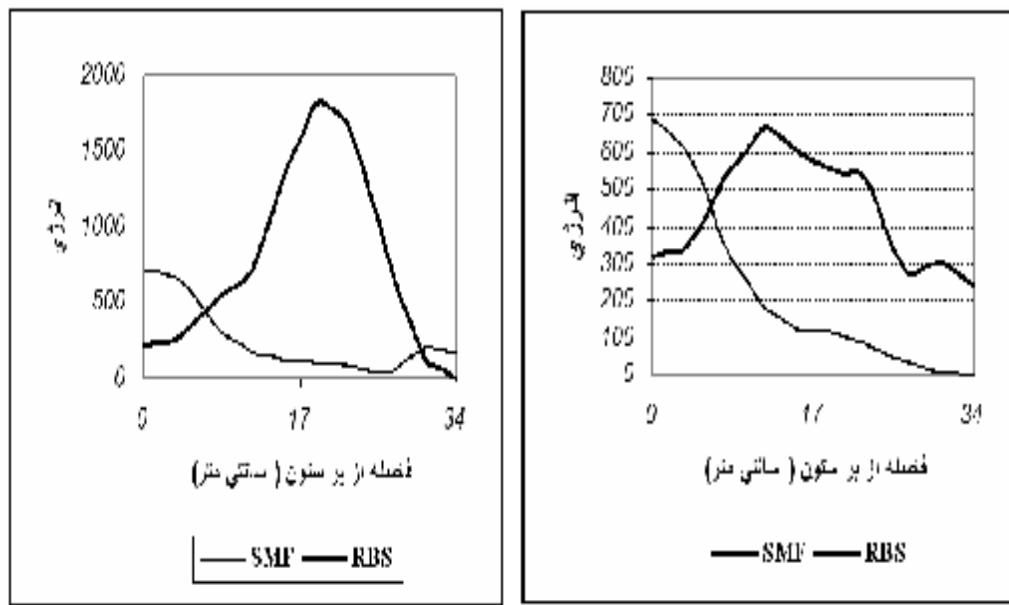
(ب)

شکل 11 نمودار تنش فون میسز در طول خط مرکزی تیر؛ (الف) بال بالایی تیر سمت چپ، (ب) بال پایینی تیر سمت چپ،

در نمونه دارای اتصال RBS در بال پایینی، در مقایسه با تیر دارای اتصال SMF کمتر است. البته حداکثر افزایش در میزان تنش در قسمت میانی ناحیه کاهش یافته برابر با 7% است. این نشان‌دهنده آن است که اگرچه ایجاد اتصال

آمده در خط مرکزی تیر می‌شود. این افزایش در تیر سمت راست برابر 250% است. در تیر سمت چپ نیز همین

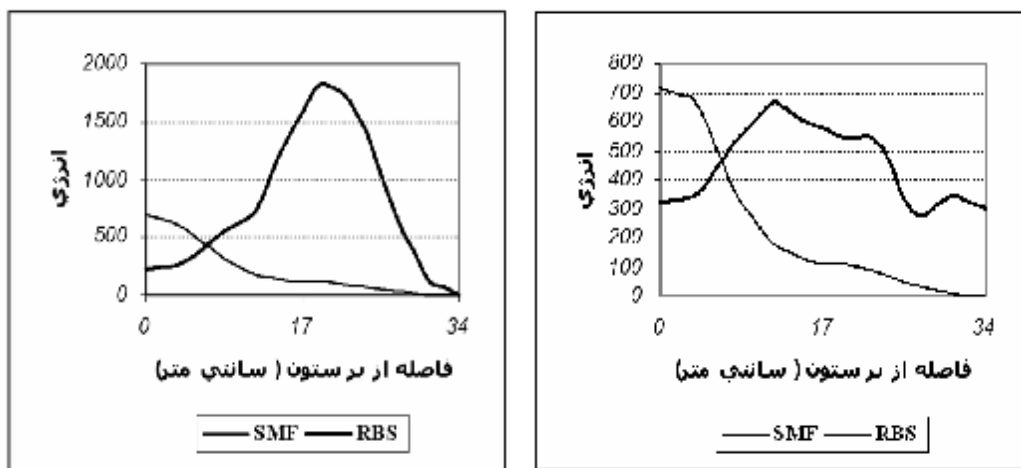
روند وجود دارد با این تفاوت که حداکثر افزایش برابر با 262% است.



(ب)

(الف)

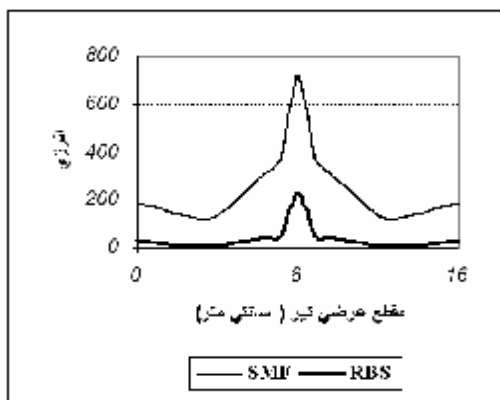
شکل 12 نمودار انرژی تلف شده در طول خط مرکزی تیر؛ الف) بال بالایی تیر سمت راست، ب) بال پایینی تیر سمت راست



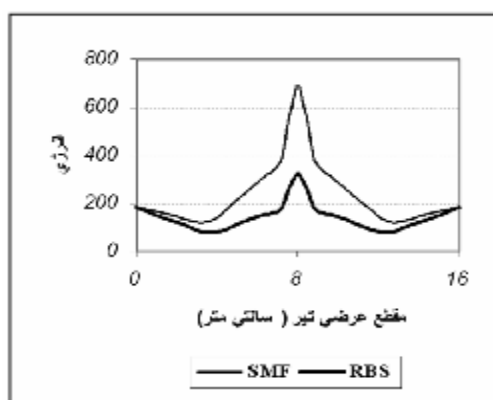
(ب)

(الف)

شکل 13 نمودار انرژی تلف شده در طول خط مرکزی تیر؛ الف) بال بالایی تیر سمت چپ، ب) بال پایینی تیر سمت چپ

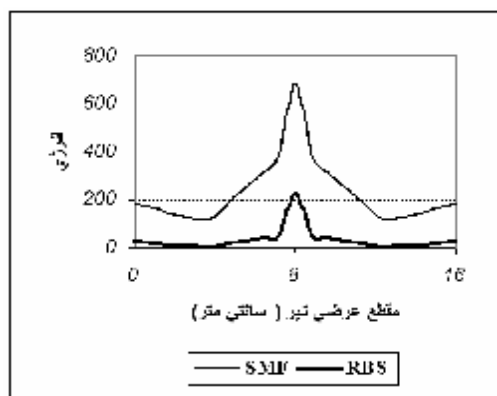


(ب)

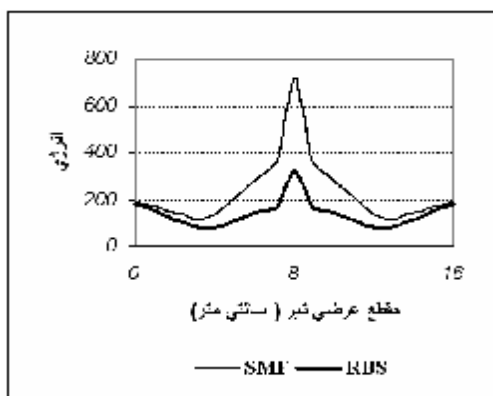


(الف)

شکل 14 نمودار انرژی تلف شده در مقطع عرضی تیر؛ الف) بال بالایی تیر سمت راست، ب) بال پایینی تیر سمت راست



(ب)



(الف)

شکل 15 نمودار انرژی تلف شده در مقطع عرضی تیر؛ الف) بال بالایی تیر سمت چپ، ب) بال پایینی تیر سمت چپ

با بررسی مقادیر حداکثر، مشاهده می‌شود که حداکثر انرژی تلف شده در بال بالایی در نمونه دارای اتصال SMF، 113% بیشتر از زیرسازه تقویت نشده است. این نسبت برای بال پایینی تیر برابر 150% است. هم‌چنین ایجاد اتصال RBS در بال پایینی باعث کاهش حداکثر تلف انرژی در ناحیه اتصال در بال بالایی به میزان 12% و در بال پایینی تیر (در ناحیه اتصال) به میزان 33% می‌شود

4-5- مقایسه نمودارهای انرژی در مقطع عرضی بال تیر

در این قسمت به مقایسه نمودارهای انرژی در مقطع عرضی بال بالایی و پایینی تیرها می‌پردازیم که در شکل‌های (14) و (15) مشاهده می‌شود. هر دو تیر سمت چپ و راست نتایج مشابهی داشته‌اند.

چرخش تیر برابر 0/025 رادیان است، در صورتی که در نمونه بهسازی شده برابر 0/033 رادیان است. در نتیجه ایجاد اتصال RBS باعث افزایش 30% در چرخش پلاستیک تیر شده است.

3. با بررسی نمودارهای تنش در امتداد ناحیه کاهش یافته در بال بالایی و پایینی مشخص می‌شود که ایجاد اتصال RBS باعث افزایش اندکی در میزان تنش در بال بالایی می‌شود و در بال پایینی باعث افزایش در تیر سمت راست به میزان 23% و در تیر سمت چپ به میزان حداکثر افزایش برابر 26% است.

4. بررسی نمودارهای تلف انرژی به‌دست آمده در امتداد ناحیه کاهش یافته نشان‌دهنده تلف عالی انرژی توسط ناحیه کاهش یافته در بال پایینی تیر است. نسبت حداکثر انرژی تلف شده در مدل بهسازی شده نسبت به مدل معمولی در تیر سمت راست برابر با 250%، و برای تیر سمت چپ برابر 262% است. همچنین اگرچه تاثیر کاهش مقطع بال بر روی تلف انرژی بال بالایی از نظر مقدار حداکثر ناچیز است، اما باعث انتقال ناحیه انرژی حداکثر به داخل بال بالایی تیر می‌شود (بیشترین انرژی تلف شده در بال بالایی در ناحیه‌ای دورتر از اتصال رخ می‌دهد).

5. با بررسی نمودارهای تلف انرژی به‌دست آمده در مقطع عرضی بال تیرهای سمت چپ و راست و همچنین در طول بال بالایی و پایینی، مشخص شد که ایجاد اتصال RBS در بال پایینی می‌تواند باعث کاهش مقادیر حداکثر انرژی تلف شده توسط ناحیه نزدیک اتصال در تیر گردد. ایجاد اتصال RBS در بال پایینی باعث کاهش 12% تلف انرژی

(ناحیه ابتدای نمودار). با توجه به این نمودارها مشخص می‌شود که در حالت کلی، ایجاد اتصال RBS در بال پایینی تیر باعث کاهش چشمگیری در حداکثر انرژی تلف شده در ناحیه اتصال تیر به ستون می‌شود. مقادیر کاهش انرژی تلف شده در ناحیه اتصال، در مورد بال بالایی کمتر از بال پایینی است. کاهش در بال بالایی فقط در مرکز تیر رخ داده، در صورتی که در بال پایینی، انرژی تلف شده در کل عرض بال تیر، کمتر از اتصال بهسازی نشده است. میزان انرژی تلف شده دارای ارتباط مستقیمی با احتمال گسترش ترک در جوش و در نتیجه ترد شکنی اتصال دارد. در نتیجه با کاهش انرژی تلف شده در بر ستون و در مقطع تیر، شکل پذیری زیرسازه به‌خوبی افزایش یافته است.

6- نتیجه گیری

1. مقاوم‌سازی اتصال با کاهش مقطع بال پایینی، علاوه بر هدایت مناسب مفصل پلاستیک به داخل تیر، باعث کاهش لنگر در بر ستون به میزان 0/08 می‌شود. به‌گونه‌ای که برای اتصال SMF لنگر برابر با 21/15 t.m و برای اتصال دارای برش در بال پایین برابر 19/54 t.m می‌شود. کاهش لنگر می‌تواند باعث کاهش نیروی وارد شونده بر چشمه اتصال شود.
2. بر اثر کاهش نیروهای وارد شونده بر چشمه اتصال، میزان چرخش پلاستیک چشمه اتصال 52% کاهش یافته است. این میزان چرخش در اتصال SMF برابر با 0/025 رادیان است، در صورتی که در مدل دارای اتصال RBS در بال تحتانی، حداکثر چرخش برابر 0/012 رادیان است. همچنین ایجاد اتصال RBS در بال پایینی تیر، تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر حداکثر چرخش در تیر دارد. در نمونه SMF، حداکثر

- [6]Roeder C.,The state-of-the-art report on connection performance. FEMA 355d. Washington, DC:Federal Emergency Management Agency, 2000.
- [7]Federal Emergency Management Agency. ,Recommended seismic design criteria for new steel moment-frame buildings. Report no. FEMA-350; 2000
- [8]Civjan, S. A, Engelhardt, M. D., and Gross, J. L. "Retrofit of Pre-Northridge Moment Resisting Connections." ASCE Journal of Structural Engineering. April 2000. pp. 445-452.
- [9]Chia-Ming Uang , Qi-Song "Kent" Yu, Shane Noel, and John Gross, Cyclic Testing of steel moment connections rehabilitated with RBS or welded haunch, Journal of structural engineering / January 2000,pp. 57-68.
- [10] Engelhardt M. D. , Winneberger T., Zekany A., and potyraj T. J. " Experimental Investigation of Dogbone Moment Connections", Engineering Journal Fourth Quarter, PP.128-139,1998.
- [11] Grubbs,K. V. " Effect of the Dogbone Connection on the Elastic Stiffness of Steel Moment Frames", Master's Thesis, Department of Civil Engineering , The University of Texas at Austin,Austin, TX,August1997.

حداکثر در ناحیه اتصال در بال بالایی و 33% در بال پایینی تیر (در ناحیه اتصال) است. این امر باعث کاهش احتمال شکست در جوش متصل کننده بال تیر به بال ستون می شود.

۷- منابع

- [1] آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، استاندارد 2800 - ویرایش سوم
- [2] مقررات ملی ساختمان . مبحث دهم، طرح و اجرای ساختمانهای فولادی. 1384.
- [3] وطنی اسکویی، اصغر، نقش اتصالات در مقاوم سازی ساختمانها در برابر زلزله، تهران، 1380، ص 21-23.
- [4] A.Moslehi Tabar , A.Deylami , Instability of beams with reduced beam section moment connections emphasizing the effect of column panel zone ductility, Journal of Constructional Steel Research 61 (2005) 1475–1491.
- [5]AISC (2005). Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (2005), American Institute of Steel Construction, Chicago.