



بررسی آزمایشگاهی رفتار چرخه‌ای اتصالات صلب رایج اصلاح شده تیر به ستون دابل فولادی

محمد کاظم شربتدار^{*}، یوسفعلی فیضی کمره، محسن گرامی

دانشکده عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۲۴ دی ۱۳۹۵
بازنگری: ۵ اردیبهشت ۱۳۹۷
پذیرش: ۶ اردیبهشت ۱۳۹۷
ارائه آنلاین: ۲۶ اردیبهشت ۱۳۹۷

کلمات کلیدی:

اتصالات
فولادی
مفصل
جوش شیاری
لرزه‌ای

چکیده: اتصال تیر به ستون یکی از مهمترین عناصر سازه‌ای در قاب‌های خمشی شکل‌پذیر فولادی به شمار می‌رود که عملکرد مناسب سازه تا حدود زیادی منوط به داشتن اتصالات با کارایی مناسب می‌باشد. اتصالات صلب با ورق پوششی از مهمترین اتصالات رایج در کشورمان ایران است و بررسی عملکرد لرزه‌ای آنها با توجه به کاربرد فراوان در ساخت و ساز الزامی می‌باشد. لذا با توجه به تحقیقات محدود آزمایشگاهی در این زمینه، در این تحقیق ۳ نمونه اتصال صلب رایج در کشور با مقیاس ۱/۲ به جهت بررسی عملکرد اتصال، اثرات حذف جوش شیاری در رفتار اتصال و معرفی مدل جدید اتصال با ورق T شکل، بر اساس مبحث دهم طراحی و ساخته شدند و تحت بارگذاری رفت و برگشتی قرار گرفتند. نتایج نشان داده است که نمونه طراحی شده بر اساس آیین‌نامه نتوانسته همه معیارهای اتصال صلب را برآورده سازد. افزودن ورق نیز سبب افزایش ۱۰ درصدی مقاومت و کاهش ۱۸ درصدی شکل‌پذیری و نیز سبب انتقال مفصل پلاستیک به بال تیر گردیده است. همچنین طبق بررسی‌های آزمایشگاهی، حذف جوش شیاری با نفوذ کامل، باعث تغییر مکانسیم شکست و کاهش مقاومت و شکل‌پذیری اتصال می‌گردد.

۱- مقدمه

بال تیر به ستون که منجر به ایجاد تنش‌های کششی سه محوری در اتصال می‌گردد و از رفتار شکل-پذیر اتصال جلوگیری می‌نماید، (د) عدم رعایت ضابطه تیر ضعیف - ستون قوی، (ه) ضعیف بودن چشمه اتصال.

نتیجه این مطالعات منجر به ارائه انواع جدیدی از اتصالات و روش‌های طراحی گردید که به روش‌های طراحی و اتصالات پس از نورتیج شهرت یافته و طراحی آنها براساس دو استراتژی تضعیف موضعی مقطع تیر و تقویت اتصال در برابر تیر انجام گردید [۲]. در بیشتر مطالعات و تحقیقات صورت گرفته از تیر و ستون تکی در مدلسازی اتصال استفاده شده است. قاب‌های خمشی دارای اتصالات با ورق پوششی بخصوص اتصالاتی با ستون‌ها بصورت دابل و تیر بصورت تکی (بعلت عدم وجود پروفیل‌های بال پهن نمره بالا و استفاده بهینه از امکانات موجود) بعنوان یکی از سیستم‌های متداول در برابر بارهای جانبی در ایران رایج می‌باشد. با توجه لرزه-خیر بودن کشورمان ایران، بررسی عملکرد لرزه‌ای چنین اتصالاتی از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشد. در کشور ما با توجه به محدودیت‌های موجود در تهیه مقاطع مورد نیاز شده قوطی برای سازه‌هایی که در هر دو جهت دارای سیستم قاب خمشی هستند، استفاده از مقاطع جعبه‌ای و یا دابل پروفیل در حال افزایش است. با وجود سختی خمشی بالای این مقاطع در هر دو امتداد، یکی از مهمترین مشکلات استفاده از این مقاطع دشواری جایگذاری ورق پیوستگی در داخل ستون است. اتصالات رایج در ایران توسط ورق‌های

پس از زلزله سال ۱۹۹۴ نورتیج تعداد زیادی از ساختمان‌های فولادی خمشی ویژه با اتصالات صلب جوشی دچار شکست ترد شدند و عملکرد نامناسب و ناکافی اتصالات خمشی طراحی و ساخته شده را در تامین نیازهای لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه آشکار کردند. در پی این رویداد، آژانس مدیریت فوریت‌های فدرال (FEMA) و پروژه ای تحت عنوان SAC برای بررسی آسیب‌ها و علل ایجاد آنها تحقیقات فراوانی انجام دادند. آسیب‌های ایجاد شده عبارت بودند از آسیب دیدگی‌های تیر، ستون، ورق اتصال جان، جوش، آسیب‌های چشمه اتصال و غیره. عواملی مانند اثرات مخرب باقی ماندن تسمه پشت بند جوش شیاری، تمرکز تنش در ناحیه مجاور جوش اتصال، تنش‌های کششی سه محوری و عدم رعایت تیر ضعیف - ستون قوی و چند عامل دیگر بعنوان عوامل مهم در ایجاد آسیب‌ها معرفی شدند [۱]. بطور کلی آسیب‌های ایجاد شده در ناحیه تیر، ستون، چشمه اتصال و جوش بنا به دلایل مختلف گزارش گردیده‌اند که عبارتند از: (الف) اثرات مخرب باقی ماندن تسمه پشت بند جوش شیاری بعد از جوشکاری که در سطح مشترک ناپیوسته عمودی بین تسمه پشت بند و بال ستون همانند یک ترک ریز عمل می‌کند، (ب) وجوه تمرکز تنش در ناحیه مجاور جوش شیاری اتصال، (ج) محدود شدن شدید تغییر شکل در اتصال بعلت جوش شیاری

^{*} نویسنده عهده‌دار مکاتبات: msharbatdar@semnan.ac.ir

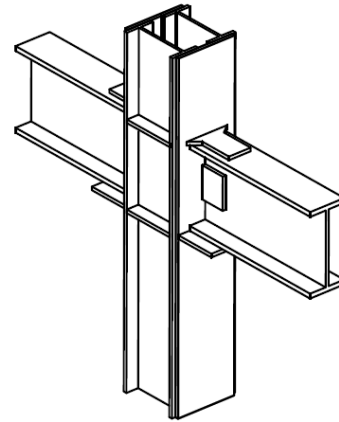
لرزه‌ای محور ضعیف اتصال تیر به ستون دابل I شکل با استفاده از ایده‌ی ورق کناری بصورت عددی بررسی گردید [۷]. در آن پژوهش ابتدا با استفاده از ایده‌ی ورق کناری جزئیات جدیدی برای اتصال تیر به ستون دابل I در جهت محو ضعیف ارائه شده، به گونه‌ای که ضمن رفع نیاز به استفاده از ورق پیوستگی، محدودیتی برای اجرای اتصال جهت قوی پیشنهادی مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایجاد نمی‌کند. در مرحله بعد با شبیه‌سازی کامپیوتری و انجام تحلیل به روش اجزاء محدود بر روی دو نمونه صلبی، رفتار اتصال پیشنهادی بررسی گردید و بررسی‌ها نشان داد که اتصال ارائه شده معیارهای شکل‌پذیری ارائه شده در آئین‌نامه AISC 2005 برای کاربرد در قاب‌های خمشی متوسط و ویژه را داراست.

اکثر بررسی‌ها و تحقیقات در زمینه اتصالات دابل در ایران بصورت عددی و تحلیلی بوده است لذا انجام پژوهش جدید بصورت آزمایشگاهی می‌تواند رفتار و واقعی این اتصالات را نشان دهد، لذا هدف این تحقیق انجام آزمایشگاهی بررسی رفتار این اتصالات رایج در ایران می‌باشد.

۲- جزئیات نمونه‌های آزمایشگاهی

از آنجا که سیستم قاب خمشی اغلب در ساختمان‌های کوتاه مرتبه و میان مرتبه بکار می‌روند، جهت مشخص شدن ابعاد تیر و ستون اتصال یک قاب ۵ طبقه ۳ دهانه با ارتفاع متوسط ۳/۲ متر و طول دهانه ۶ متر با مقیاس ۱/۲ در برنامه تحلیلی ETABS مدلسازی شد و مشخصات یکی از اتصالات کناری به عنوان مشخصات اتصال مورد آزمایش در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌ها بر اساس آیین‌نامه طراحی ساختمان‌های فولادی (مبحث دهم) [۴] و توصیه‌های لرزه‌ای استاندارد ۲۸۰۰ [۸] طراحی گردیده‌اند. سه نمونه با نام‌های SC1، SC2 و SC5 نامگذاری شده که از نظر مشخصات مشابه می‌باشند، لکن در چشمه اتصال نمونه SC2 از ورق مضاعف استفاده شده است در حالی که در مراحل طراحی و براساس ضوابط موجود در آیین‌نامه، افزودن ورق مضاعف در چشمه اتصال نمونه SC1 ضرورتی نداشته است. نمونه SC5 با هدف بررسی اثرات حذف جوش شیاری و معرفی مدل جدید اتصال طراحی گردید و در آن از یک سری ورق T شکل که از یک طرف به بال ستون و از طرف دیگر به بال تیر که بوسیله جوش گوشه متصل شده‌اند، استفاده گردید. در طراحی همه نمونه‌ها، ضابطه تیر ضعیف‌ستون قوی رعایت شده است [۴]. در شکل ۲ مشخصات کلی نمونه‌ها نمایش داده شده است. به جهت حساس بودن کیفیت جوشکاری در رفتار اتصال، تمامی جوش‌ها بصورت کارخانه‌ای اجرا گردید. همچنین برخی از محدودیت‌های آزمایشگاهی مانند ظرفیت جک‌ها و میزان بازشدگی آن‌ها به جهت اعمال برنامه بارگذاری که بصورت تغییر مکانی در انتهای تیر اعمال گردیده، در نظر گرفته شد.

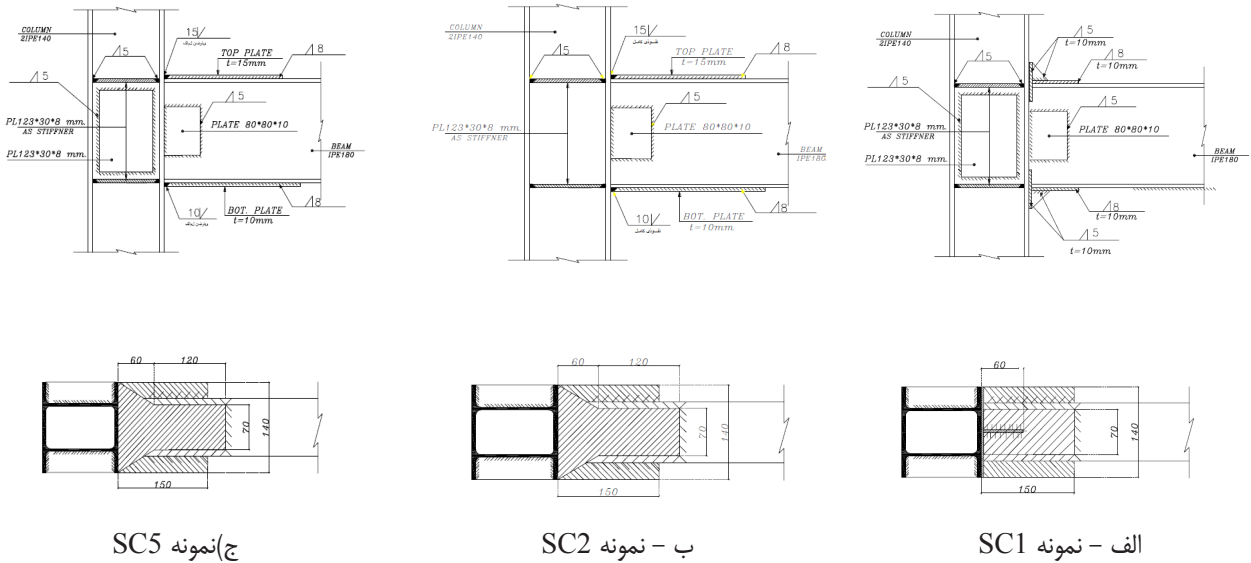
بالاسری و زیرسری توسط جوش شیاری با نفوذ کامل به بال ستون مطابق شکل ۱ ایجاد می‌گردند.



شکل ۱: اتصال رایج در ایران با ورق بالاسری و زیرسری توسط جوش شیاری با نفوذ کامل به بال ستون

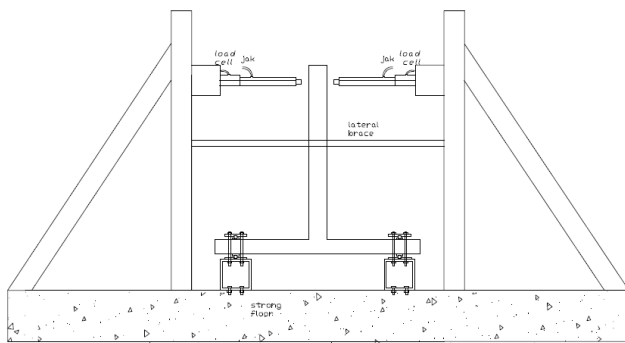
Fig. 1. The common connections in Iran constructed using top and bottom plates with groove welding to column flange

بر اساس نشریه سازمان مدیریت و آیین‌نامه مبحث دهم [۳] و [۴] ورق بالاسری و زیرسری می‌بایستی با استفاده از جوش نفوذی کامل به بال ستون متصل شوند، این در حالی است که در برخی از کارگاه‌ها ورق زیرسری روی زمین توسط جوش گوشه دو طرفه و ورق بالا سری در کارگاه توسط جوش گوشه یک طرفه به ستون متصل می‌شوند. با توجه به اینکه در آیین‌نامه جوشکاری [۳] تکیه بر مقاومت عمود بر صفحه جوش مجاز نیست. با توجه به اهمیت موضوع، بررسی رفتار لرزه‌ای این نوع اتصالات توسط محققین مختلفی بصورت عددی انجام شده است. دیلمی و شیراوند در تحقیقی رفتار غیرخطی سیستم اتصال تیر به ستون دابل با استفاده از صفحات کناری با پنج مدل سه بعدی به روش اجزا محدود تحت اثر بارگذاری سیکلی مورد تحلیل و بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که اتصال تیر به ستون دابل با استفاده از صفحات کناری دارای مقاومت و شکل‌پذیری مناسبی می‌باشد و می‌توان از آن در قاب‌های خمشی ویژه برای مناطق با لرزه خیزی زیاد استفاده نمود [۵]. جواد و اشرفی هم رفتار اتصالات گیردار متداول و رفتار نامناسب این نوع اتصالات را بصورت عددی بررسی کردند که پس از تحلیل اتصال مشخص گردید که این نوع اتصال علیرغم داشتن جزئیات یک اتصال صلب دارای صلبیت، مقاومت و شکل‌پذیری بسیار پایینی بوده و استفاده از آن به عنوان یک سیستم سازه‌ای مستقل ممکن است منجر به خرابی‌های جبران‌ناپذیری در سازه شود، در نتیجه، در صورتیکه بنا به دلایل مختلف، از ستون‌های دابل استفاده شود، باید با استفاده از روشی مناسب مانع از دوران ورق پوششی ستون شد [۶]. در تحقیق دیگری رفتار



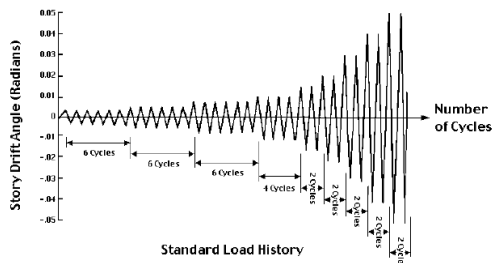
شکل ۲: جزئیات نمونه‌های اتصالات آزمایشگاهی

Fig. 2. Characteristics of the specimens



شکل ۳: پیکربندی آزمایش

Fig. 3. Test setup



شکل ۴: تاریخچه بارگذاری [۲ و ۳]

Fig. 4. Loading history

۳- پیکربندی و بارگذاری آزمایش

شرایط نمونه‌های تحت آزمایش و هم چنین شرایط سرحدی نمونه‌های مورد آزمایش به نحوی در نظر گرفته شد که طی اعمال بارگذاری تغییر شکل نمونه‌ها مشابه تغییر شکل اعضای یک قاب خمشی تحت بار جانبی باشد. بر این اساس یک نمونه T شکل بعنوان یک اتصال کناری انتخاب گردید و با فرض اینکه نقاط وسط تیر و ستون در نمونه آزمایشگاهی همان نقاط عطف در تیر و ستون قاب خمشی بوده و بعنوان نقاط مفصل در نظر گرفته شدند. در شکل ۳ پیکربندی آزمایش، قاب صلب آزمایشگاه، جک هیدرولیکی (در این آزمایش‌ها از دو جک هیدرولیکی با ظرفیت ۲۵۰ کیلو نیوتن و با حداکثر دامنه بازشدگی ۲۰ سانتی متر به جای جک رفت و برگشتی استفاده شد) هم چنین در شکل سلول بار به همراه یکی از نمونه‌های آزمایشگاهی دیده می‌شود.

به خاطر شرایط و محدودیت فضای آزمایشگاه نمونه‌ها با ۹۰ درجه چرخش پادساعت گرد نسبت به حالت واقعی روی قاب نصب شدند. به طوری که ستون بر روی کف قوی و بار جانبی در انتهای سر آزاد تیر اعمال گردید. به منظور جلوگیری از ناپایداری خارج از صفحه نمونه‌ها، از مهار جانبی در فاصله مناسب استفاده شد.

بارگذاری به شیوه نیمه استاتیک و در مود کنترل تغییر مکان با نرخ کم به نمونه‌های آزمایشگاهی اعمال گردید.

تاریخچه بارگذاری، مطابق الگوی استاندارد پیشنهاد شده در ATC24 [۹] و آیین نامه AISC [۱۰] مانند شکل ۴ استفاده شده است.

اتصال هنوز در حالت الاستیک باقی مانده است. در سیکل دوم دررفت ۳٪ ترک‌هایی در جوش ورق پایین به بال تیر مشاهده شد.



شکل ۶: حالت نهایی نمونه SC1

Fig. 6. final mode of specimen SC1

در ابتدای بارگذاری سیکل اول دررفت ۴٪ ترک‌هایی در ورق بالاسری ایجاد و در ادامه بارگذاری و در سیکل دوم دررفت ۴٪ ترک‌های جوش گوشه ورق پایین به بال تیر افزایش یافته که با بازگشت حالت بارگذاری روند کاهش نیرو در نمونه روبه افزایش نهاد. پس از آن در ابتدای اعمال سیکل اول دررفت ۵٪ ترک‌هایی در جوش ورق برش‌گیر بوجود آمد که با ادامه فرآیند بارگذاری و در انتهای سیکل اول دررفت ۵٪ ترک‌های بوجود آمده در ورق بال پایین تیر بطور متقارن بیشتر گردید. این ترک‌ها تقریباً باعث کاهش چشم‌گیری در میزان مقاومت نمونه شد که پس از اعمال سیکل اول دررفت ۵٪ نمونه دچار کاهش شدید مقاومت شده به طوری که به حالت نهایی از لحاظ بارگذاری رسید. این حالت نهایی در شکل ۷ نمایش داده شده است. روند بارگذاری سیکلی نمونه SC5 بدین صورت بود که در دررفت‌های پایین هیچ گونه خرابی مشاهده نشد. نمونه توانست دررفت‌های ۱٪ و ۲٪ را بدون مشاهده اثر خاصی سپری نماید.

در ادامه بارگذاری میزان کرنش در کرنش سنج‌های نصب شده در بر لچکی رو بال تیر در دررفت ۲٪ به حد جاری شدن (۰/۰۰۲) رسید. این در حالی است که کرنش در چشمه اتصال در حد الاستیک باقی مانده است. البته این میزان کرنش با فاصله از بر ستون کاهش یافته بطوریکه در دررفت ۲٪ و در فاصله ۲۰ سانتیمتری از بر ستون میزان کرنش در حد ۰/۰۰۱ بود. توزیع کرنش تا حدودی بصورت خطی و با توزیع تقریباً یکسان در هر دو بال بالا و پایین تیر، با فاصله از بر ستون دارای نرخ کاهشی و مقدار آن کم می‌شد. در ادامه و در سیکل اول دررفت ۳٪ اولین ترک در جوش گوشه بین ورق متصل به بال پایین و بال ستون دیده شد. در سیکل دوم دررفت ۳٪ ترک در جوش ورق بال بالا نیز مانند بال پایین بوجود آمد، هم چنین ترک‌های در جوش گوشه لچکی و ورق متصل به بال تیر در راستای محور طولی

۴- مشاهدات و نتایج

در ادامه مشاهدات کیفی به دست آمده از رفتار نمونه‌ها در طول انجام آزمایش چرخه‌ای و هم چنین رفتار لرزه‌ای اتصال به همراه نتایج کمی آزمایش‌ها و تحلیل آن‌ها ارائه می‌گردد.

۴-۱- مشاهدات

در بارگذاری سیکلی، نمونه SC1، دررفت‌های ۱٪ (سه سیکل) و سیکل اول دررفت ۲٪ را بدون مشاهده هیچ گونه خرابی را سپری کرد و در سیکل دوم دررفت ۲٪ ایجاد مفصل پلاستیک در درون چشمه اتصال مانند آنچه که در شکل ۵ دیده می‌شود به وضوح مشاهده شد.



شکل ۵: ایجاد مفصل پلاستیک در درون چشمه اتصال نمونه SC1 در دررفت ۲٪

Fig. 5. plastic hinge in the panel zone at specimen SC1 in drift 2%

با افزایش میزان تغییر مکان و بعبارتی در سیکل دوم دررفت ۳٪ ترک‌های ریزی در ورق بالای تیر، در محل تغییر مساحت دیده شد هم چنین ترک‌های ریز در جوش گوشه ورق پایین به بال تیر بوجود آمد.

در دو سیکل دررفت ۴٪ شاهد پیچش کلی در نمونه و تیر با مهار جانبی درگیر و در دررفت ۵٪ درگیری بین تیر و مهار جانبی بیشتر شده بطوری که به اجبار ادامه بارگذاری متوقف گردید. در شکل ۶ وضعیت نهایی نمونه SC1 در پایان بارگذاری و آزمایش مشاهده می‌شود.

طی بارگذاری سیکلی، نمونه SC2 توانست دررفت‌های ۱٪ و ۲٪ را بدون مشاهده اثر قابل ذکری سپری و در دررفت ۲٪ میزان کرنش در کرنش سنج‌های نصب شده در بال تیر و در بر ورق‌های بالا و زیرسری تیر به حدود ۰/۰۰۴ رسید در حالی که میزان کرنش در کرنش سنج‌های درون چشمه اتصال در حد کمتر از ۰/۰۰۱ مشاهده که این رفتار موید ایجاد مفصل پلاستیک در بال تیر و در ناحیه دور از بر ستون می‌باشد. در سیکل اول دررفت ۳٪ چروک‌های ناشی از افزایش طول مفصل پلاستیک در تیر مشاهده و هم چنین کرنش در بال تیر در حال افزایش بوده در صورتی که ناحیه چشمه

۴-۲- مقایسه رفتار چرخه‌ای نمونه‌ها

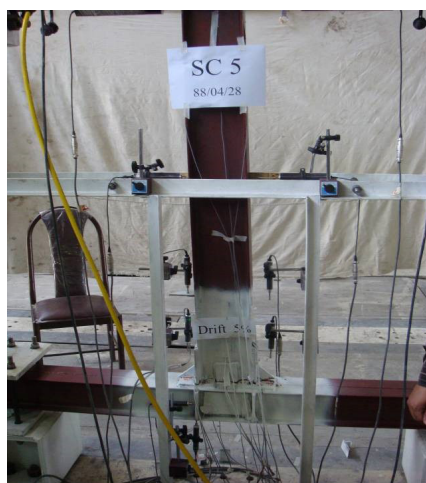
برای مقایسه رفتار سیکلی دو نمونه SC1 و SC2 در طی مراحل بارگذاری، منحنی کرنش ثبت شده متناسب با دررفت اعمال شده به نمونه در چشمه اتصال و بال تیر برای نمونه SC1 در شکل ۹ و برای نمونه SC2 در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همچنین برای مقایسه رفتار نمونه‌ها و بررسی اهداف مورد نظر در این تحقیق، منحنی‌های ممان - دررفت نسبی (نسبت تغییر مکان انتهایی تیر به طول تیر) در شکل ۱۱ برای هر دو نمونه با هم مقایسه شده است.

تیر مانند مشاهده شد. در سیکل اول دررفت ۴٪ ترک‌های در جوش ورق برش‌گیر داخل جان دیده شد. در سیکل دوم دررفت ۴٪ ترک‌های قبلی باز تر شده و در جوش ورق لچکی متصل به ستون ترک‌هایی در راستای ستون مشاهده شد. در اولین سیکل دررفت ۵٪ که ترک‌ها بیش از حد باز شده و بطور ناگهانی نمونه دچار شکست شده، به طوری که نتوانست تغییر مکان معادل دررفت ۵٪ را تحمل کند. شکل ۸ حالت نهایی نمونه SC5 پس از بارگذاری را نشان می‌دهد.



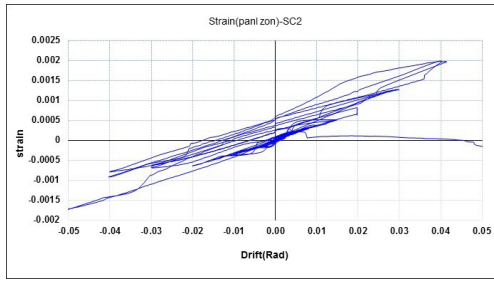
شکل ۷: حالت نهایی نمونه SC2

Fig. 7. final mode of specimen SC2

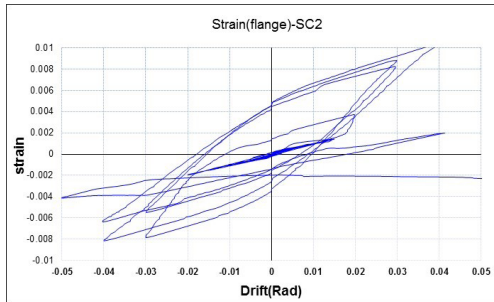


شکل ۸: حالت نهایی نمونه SC5

Fig. 8. final mode of specimen SC3

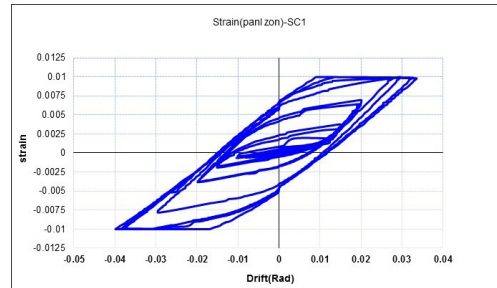


الف - منحنی کرنش ثبت شده در چشمه اتصال
(a) Strain curve recorded at panel zone

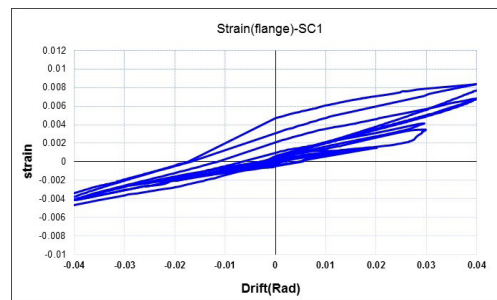


ب- منحنی کرنش ثبت شده در بال تیر
(b) Strain curve recorded at flange of beam
شکل ۱۰: نتایج اولیه کرنش در نمونه SC2

Fig. 10. Primary strain results in SC2 specimen



الف- منحنی کرنش ثبت شده در چشمه اتصال
(a) Strain curve recorded at panel zone



ب- منحنی کرنش ثبت شده در بال تیر
(b) Strain curve recorded at flange of beam

شکل ۹: نتایج اولیه کرنش در نمونه SC1

Fig. 9. Primary strain results in SC1 specimen

البته با توجه به شکل ۱۱ نمونه SC1 دارای رفتار شکل پذیرتری نسبت به نمونه SC1 می‌باشد، چرا که دارای منحنی هیستریسیس بازتری است و هم چنین توانسته است دررفت ۰.۵٪ را بدون کاهش مقاومت سپری کند در حالی که نمونه SC1 این دررفت را نتوانسته تحمل کند. همچنین با توجه به آنچه که در شکل مشاهده می‌شود دو نمونه در تغییر مکان‌های کوچک (دررفت کمتر ۰/۰۰۲ درصد) دارای رفتار تقریباً یکسانی هستند، در حالی که در تغییر مکان‌های زیاد (تغییر مکان‌های غیر ارتجاعی) مقاومت و سختی نمونه SC2 بر مراتب بیش‌تر از نمونه SC1 می‌باشد. با توجه به شرایط این تحقیق بنظر می‌رسد که افزودن ورق مضاعف به نمونه SC2 نسبت به نمونه SC1 توانسته است باعث افزایش سختی نمونه و هم چنین افزایش ۱۰ درصدی مقاومت نهایی آن نسبت به نمونه SC1 شود. البته این افزایش مقاومت نمونه SC2 با کاهش ۱۸ درصدی شکل پذیری آن نسبت به نمونه SC1 همراه شده است. نکته دیگری که در مورد افزودن ورق مضاعف به نمونه SC2 حائز اهمیت می‌باشد، انتقال مفصل پلاستیک از درون چشمه اتصال به بال تیر می‌باشد که سبب تامین شدن ضابطه تیر ضعیف-ستون قوی در این اتصال می‌باشد.

همچنین برای مقایسه رفتار دو نمونه SC2 و SC5 و بررسی اهداف مورد نظر در این تحقیق منحنی‌های ممان - دررفت نسبی (نسبت تغییر

با توجه به شکل ۹-الف مشاهده می‌شود که در دررفت ۲٪ میزان کرنش در چشمه اتصال از حد کرنش جاری شدگی فولاد (۰/۰۰۲) به اندازه ۱۰۰ درصد گذشته است، در حالی با توجه به شکل ۹-ب میزان کرنش در بال تیر در تمامی دررفت‌ها کمتر از حد کرنش جاری شدگی فولاد (حداقل ۰/۰۰۲ درصد) می‌باشد. این بدان معناست که در نمونه SC1 مفصل پلاستیک در چشمه اتصال بوجود آمده است، یا بعبارت دیگر مفصل پلاستیک در ناحیه ستون بوده و این به معنای نقض ضابطه تیر ضعیف-ستون قوی می‌باشد. در مورد نمونه SC2 با توجه به شکل ۱۰-الف مشاهده می‌شود که در تمامی دررفت‌ها میزان کرنش در چشمه اتصال کمتر از حد کرنش جاری شدگی فولاد (حداقل ۰/۰۰۲ درصد) بوده در صورتی که مطابق شکل ۱۰-ب در دررفت ۲٪ میزان کرنش در بال تیر ۵۰ درصد بیش از کرنش جاری شدگی می‌باشد که نشانه تشکیل مفصل پلاستیک در ناحیه‌ای دور از بر ستون و تامین کردن ضابطه تیر ضعیف-ستون قوی می‌باشد. از آنجا که تنها تفاوت دو نمونه مذکور، وجود ورق مضاعف در چشمه اتصال نمونه SC2 می‌باشد، با مقایسه نتایج مشاهده می‌شود که دو نمونه دارای رفتار تقریباً مشابهی می‌باشند.

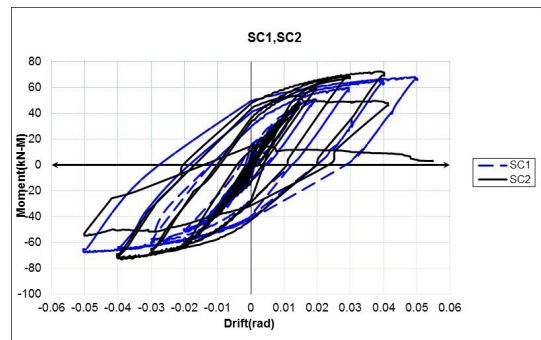
۵- بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق عملکرد لرزه‌ای سه نمونه شامل نمونه SC1 بعنوان نمونه اتصال طراحی شده بر اساس آیین‌نامه فولاد ایران و هم چنین نمونه SC2 به عنوان اتصال اصلاح شده با استفاده از ورق مضاعف در چشمه اتصال و نمونه SC5 با حذف جوش شیاری و استفاده از ورق‌های T در آن مورد بررسی و تحت بارگذاری سیکلی قرار گرفتند، که نتایج حاصل از این مطالعه بترتیب زیر می‌باشند:

۱. نمونه SC1 بعنوان نمونه اتصال طراحی شده براساس آیین‌نامه فولاد ایران، ضابطه تیر ضعیف-ستون قوی را برآورده نمی‌سازد.
۲. از آنجا که روند بارگذاری سیکلی نمونه SC1 بدون ایجاد آسیب در نمونه متوقف گردیده است، مفصل پلاستیک در درون چشمه اتصال بوجود آمده و به کمک استهلاک برشی در درون چشمه اتصال، تحمل تغییر مکان‌های غیر ارتجاعی بزرگی را ممکن ساخته است.
۳. افزودن ورق مضاعف در درون چشمه اتصال، ضابطه تیر ضعیف ستون قوی را ارضاء نموده و باعث انتقال مفصل پلاستیک به بال تیر گردیده است.
۴. افزودن ورق مضاعف به نمونه SC2 باعث افزایش ۱۰ درصدی مقاومت و کاهش ۱۸ درصدی شکل‌پذیری نمونه گردیده است.
۵. هر چند بنظر می‌رسد در مراحل طراحی نمونه SC1 نیازی به ورق مضاعف در درون چشمه اتصال نیست اما نتایج بارگذاری خلاف این را نشان می‌دهد. یکی از دلایل این امر، دوبر بودن ستون است، به عبارت دیگر ضخامت معادل جان ستون دوبر نتوانسته ضخامت مورد نیاز چشمه اتصال را تامین کند.
۶. نمونه SC2 بعنوان نمونه اتصال رایج در ایران توانسته معیارهای مد نظر آیین‌نامه در خصوص اتصالات صلب را برآورده سازد. هر چند با توجه به نوع مکانیسم شکست این اتصال می‌بایست دقت لازم در خصوص جوش و نحوه اجرا آن بکار رود.
۷. حذف جوش شیاری در نمونه SC5 و استفاده از ورق‌های T شکل باعث شده که مکانیسم شکست در نمونه SC5 از نوع ترد و شکننده باشد، در صورتی که اتصالات صلب باید شکل‌پذیری کافی را برای برآوردن اهداف طراحی داشته باشد.
۸. هر دو نمونه SC2 و SC5 توانسته‌اند معیار تیر ضعیف-ستون قوی را برآورده سازند، چراکه در طی روند بارگذاری، تشکیل مفصل پلاستیک بال تیر در ناحیه‌ای دور از چشمه اتصال بوقوع پیوسته است.
۹. استفاده از ورق‌های T شکل و حذف جوش شیاری و جایگزینی آن با جوش گوشه در نمونه SC5 باعث کاهش ۲۱٪ مقاومت‌نهایی و هم چنین کاهش ۳۰ درصد شکل‌پذیری نمونه نسبت به نمونه SC2 شده است و در نتیجه استفاده از این دیتایل اتصال ضوابط آیین‌نامه را برآورده نمی‌نماید.

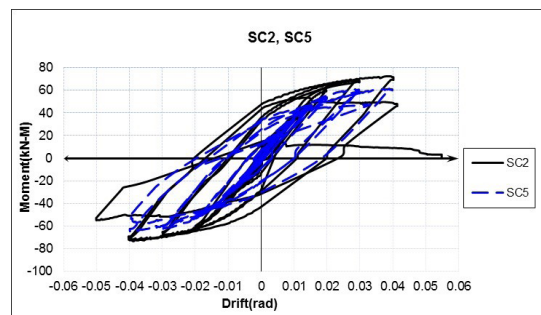
مکان انتهایی تیر به طول تیر) در شکل ۱۲ برای هر دو نمونه با هم مقایسه شده است. همانطور که از نمودارای شکل ۱۲ مشاهده می‌شود نمونه SC2 دارای منحنی رفتاری با سطح انرژی بالاتر که بیانگر رفتار غیر خطی پایدار نسبت به نمونه SC5 می‌باشد. هم چنین با توجه به نمودارها نمونه SC2 توانسته است دریفت ۴٪ را بدون کاهش مقاومت طی کند در حالی که نمونه SC5 در سیکل اول دریفت ۴٪ دچار کاهش مقاومتی به میزان ۳۰٪ شده است، که با توجه به آیین‌نامه اتصال خمشی می‌بایستی دریفت ۴٪ را با کاهش مقاومت کمتر از ۲۰٪ طی کند [۷ و ۴].

بر این اساس نمونه SC2 توانسته این معیار را برآورده کند در حالی که در نمونه SC5 چنین نبوده است. با توجه به نمودار بالا دو نمونه از لحاظ مقاومتی دارای رفتار تقریباً مشابهی می‌باشند، با این تفاوت که سطح مقاومت نمونه SC2 بالاتر از نمونه SC5 بوده و هم چنین نمونه SC2 دارای رفتار شکل‌پذیری بوده در حالی که نمونه SC5 دارای رفتار ترد و شکننده‌ای می‌باشد.



شکل ۱۱: مقایسه منحنی‌های ممان - دریفت نسبی دو نمونه SC1 و SC2

Fig. 11. Comparison of the moment-drift curves of two specimens SC1 and SC2



شکل ۱۲: منحنی ممان - دریفت نسبی

Fig. 12. Comparison of the moment-drift curves of two specimens SC2 and SC5

- [9] Federal Emergency Management Agency, SAC Joint Venture, "Interim Guidelines Advisory No.2 Supplement to FEMA-267 Interim Guidelines: Evaluation, Repair, Modification and Design of Welded Steel Moment Frame Structures", Report No. SAC-99-01, June 1999.
- [10] AISC/ANSI 360-05, "Specification for Structural Steel Building", American Institute of Steel Building, Inc., Chicago Il., 2005.
- [11] Zahraei S. M., Saleh A., Mirghaderi S., "A Study of the Cyclic Behavior of Special Steel Moment Resistance with the Use of Double and Reverse Arc-Shaped Fuse on the Beam Flange", Journal of Structural-Earthquake Analysis, 1394.
- [12] Norouzi F., "Evaluation of a straight beam connection to reinforced steel column for pre-validated conditions", Journal of seismology and earthquake engineering research, 1395..
- [13] M.Gerami, H.Saberi, V.Saberi, D.Amir Saedi; "Cyclic behavior of bolted connections with different arrangement of bolts" Journal of Constructional Steel Research (ISI), 2010.
- [14] H.Saberi, A.kheyroddin, M.Gerami, "Comparison of Bolted End plate and T-Stub Connections Sensitivity to Bolt Diameter on Cyclic Behavior", International Journal of steel structure, September 2014.
- مراجع
- [1] Recommended seismic design criteria for new steel moment frame buildings. Report No. FEMA-350., Federal Emergency Management Agency; 2000.
- [2] Miller D. K., "Lessons Learned From the Northridge Earthquake", Journal of Engineering Structures, 1998.
- [3] connections in steel structures, code 264, 1384.(in Persian)
- [4] Iranian standard steel design, 9 th Issue, The design of steel structures, 1392. (in Persian)
- [5] Deilami A., "Moment Connection of Steel Double-I Built-Up Column Using Side Plates", journal of structure & steel, 1384(1) (2006) 15-30.(In Persian)
- [6] Javadi, M., Ashrafi, H.R., "Investigation of stiffness and an appropriate behavior of I-beam to double IPE column rigid connection with Finite Element method", Seismology and seismic engineering journal, 17 th year, No 3, 4, 1391.
- [7] Mohamadi S.,Ghasemie M., "Improvement of poor-axis seismic behavior. Connecting beam to double column I-shape using the sidewall idea. ", Second National Conference on Steel and Structure, 2011.
- [8] Iranian standard code 2800, seismic design of structures, 4 th edition, 1396.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

M. K. Sharbatdar, Y. Feazi Kamareh, M. Gerami, Experimental Investigation of Cyclic Behavior of Reformed Rigid steel beam-double column Connections, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(6) (2019) 1137-1144.

DOI: 10.22060/ceej.2018.12400.5206

