



کد مقاله: ۱-۱۰۸

بررسی راهکارهای کاهش احتمال گسیختگی در دو انتهای ورق زیرسری

در محل اتصال صلب تیر به ستون قوطی شکل

وحیدرضا کلاتجاری^۱، مسعود کیوانل^۲، احمد گریوانی^۳

۱- عضو هیأت علمی، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه صنعتی شاهرود

چکیده

یکی از مشکلاتی که اتصالات صلب خمشی با آن روبرو هستند گسیختگی ورق زیرسری تیر، در محل اتصال تیر به ستون است. اتصال صلب خمشی همراه با ورق‌های زیرسری و روسری برای اتصال تیر به ستون قوطی شکل یکی از اتصالات رایج در ساختمان‌های نسبتاً بلند است. در این تحقیق به بررسی سه راهکار برای کاهش احتمال گسیختگی ورق زیرسری در محل اتصال به ستون پرداخته شده است. در روش اول، یک ورق قائم به موازات جان ستون در مرکز چشمه اتصال قرار داده شد (مجموع ضخامت ورق قائم و دو جان ستون قوطی برابر با مجموع ضخامت دو جان ستون قوطی در نمونه اولیه است). در روش دوم، با ثابت نگهداشتن سطح مقطع ورق زیرسری، عرض آن افزایش داده شد. و در روش سوم، سطح مقطع دو نمونه در محل اتصال تیر به ستون یکسان است، با این تفاوت که ورق زیرسری یکی از نمونه‌ها دارای انحنا می‌باشد (ورق زیر سری بصورت کله گاوی اجرا شده است). نتایج نشان می‌دهد که در هر سه روش اندیس گسیختگی اتصال مربوطه کاهش یافته است، بطور مثال در روش دوم حداکثر اندیس گسیختگی اتصال تا ۳۰ درصد کاهش پیدا کرده است.

کلمات کلیدی: اتصال صلب خمشی، ورق زیرسری، ستون قوطی شکل، اندیس گسیختگی.

۱-مقدمه

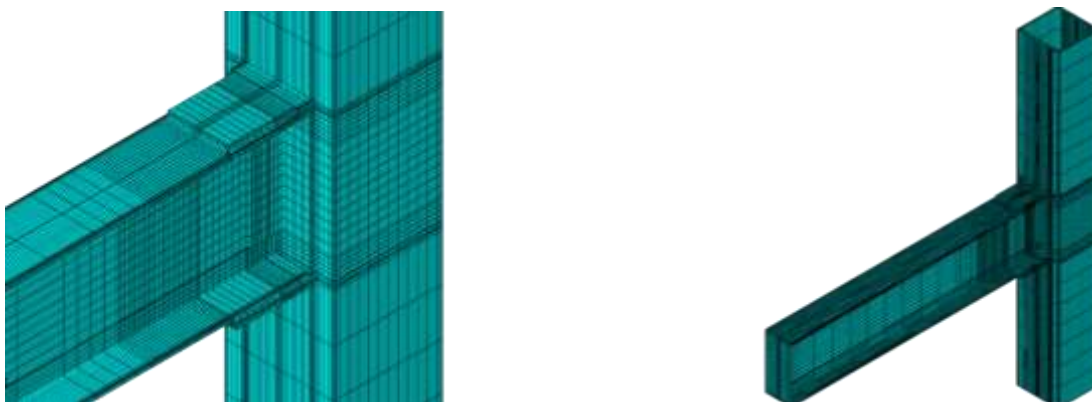
ایران کشوری زلزله‌خیز می‌باشد و به همین علت ایجاد سازه‌های مقاوم در برابر زلزله در آن اهمیت زیادی پیدا می‌کند. با توجه به فراوانی استفاده از سازه‌های فولادی در ایران، باید نسبت به توسعه‌ی سازه‌های فولادی مقاوم در برابر زلزله و اصلاح اشکالات موجود، توجه خاصی مبذول داشت. پس از زلزله‌ی ۱۹۴۴ نورث‌ریچ کالیفرنیا تعداد قابل ملاحظه‌ای از ساختمان‌های فولادی با اتصالات خمشی خسارت دیدند. طراحی اتصالات ممان‌گیر فولادی که مطابق آیین‌نامه‌های رایج سازه‌های فولادی طراحی شده بودند، با مشاهده‌ی گسیختگی ترد و شکننده در این نوع اتصالات در زلزله‌ی نورث‌ریچ مستلزم بازبینی مجدد شدند. این زلزله دلیل تحولاتی که در روند طراحی اتصالات سازه‌های فولادی ایجاد کرد، نقطه‌ی عطفی در تاریخ اتصالات سازه‌های فولادی محسوب می‌شود و سبب افزایش توجه به قابلیت اطمینان در فرآیند طراحی سازه‌های فولادی

شده است [۱]. در زلزله نورتریچ آسیب‌های بوجود آمده در سازه‌ها عموماً در محل اتصال تیر به ستون رخ داده بود، زیرا در آنها ظرفیت دوران غیر ارتجاعی اتصال کمتر از ظرفیت غیر ارتجاعی اعضاء قاب بود [۱،۲]. بعد از این واقعه تحقیقات زیادی برای بهبود عملکرد لرزه‌ای اتصالات خمشی صورت گرفت که در این میان می‌توان به " Popov " و " Tsai " [۳] که بهبود عملکرد لرزه‌ای اتصال End-Plate سخت‌کننده‌دار را با استفاده از پیچ‌های قوی، تحت بارگذاری چرخه‌ای مورد بررسی قرار دادند، اشاره کرد. " Shanmugam " و همکاران [۴] برای بررسی عملکرد اتصال تیر به ستون‌های قوطی با استفاده از سخت‌کننده‌ی نبشی و T شکل، آزمایشاتی را انجام دادند، آنها نتیجه گرفتند که اتصال با سخت‌کننده‌ی T شکل عملکرد بسیار بهتری نسبت به سخت‌کننده‌ی نبشی شکل دارد. " قبادی " و همکاران [۵] عملکرد اتصال تیر به ستون قوطی با استفاده از سخت‌کننده‌ی T شکل را در دو حالت (اتصال سخت‌کننده به بال تیر بوسیله جوش گوشه و جوش نفوذی) با نرم افزار ANSYS مدل‌سازی کردند و نتیجه گرفتند که پتانسیل ایجاد گسیختگی در مواردی که از جوش گوشه برای اتصال سخت‌کننده به بال تیر استفاده شود نسبت به مواردی که از جوش نفوذی استفاده شود، کمتر است، ایشان سپس یک نمونه آزمایشگاهی از اتصال با سخت‌کننده‌ی T شکل که توسط جوش گوشه به بال تیر متصل شده بود را مورد آزمایش قرار دادند، که بدون ایجاد هیچگونه ترک، مفصل پلاستیک ناشی از تسلیم‌شدگی و کمانش بال تیر در خارج از محل اتصال سخت‌کننده به بال تیر ایجاد شد. در ایران روش متداول برای ایجاد اتصال صلب خمشی تیر به ستون، استفاده از صفحات زیرسری و روسری می‌باشد. ورق‌های زیرسری و روسری محل تشکیل مفصل پلاستیک را از مرز ستون به دهانه تیر منتقل می‌کنند و باعث می‌شوند تمرکز تنش در محل اتصال تیر به ستون کاهش یابد (ضعف اتصالات قبل از زلزله‌ی نورتریچ، در محل اتصال بال تیر به بال ستون می‌باشد). در این مقاله قصد داریم با ارائه‌ی راهکارهایی، تمرکز تنش در محل اتصال ورق زیرسری به بال ستون را تا حد امکان کاهش داده و از این طریق احتمال گسیختگی اتصال را به حداقل برسانیم.

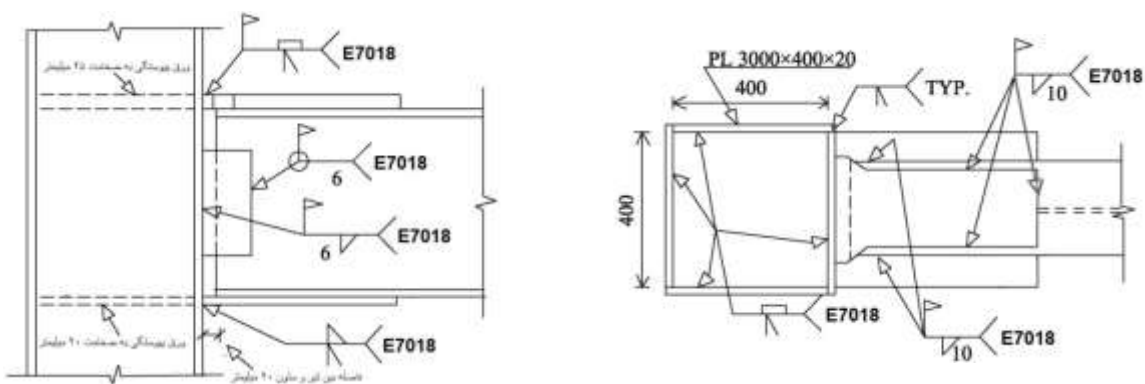
۲- جزئیات نمونه آزمایشگاهی و نمونه عددی :

بمنظور مدل‌سازی عددی اتصال تیر به ستون قوطی همراه با ورق‌های زیرسری و روسری، یک نمونه آزمایشگاهی از این اتصال که توسط غلامی [۶] در دانشگاه صنعتی امیرکبیر مورد آزمایش قرار گرفته، انتخاب شده و مدل اجزاء محدود آن جهت صحت‌سنجی ایجاد گردیده است، مدل آزمایشگاهی انتخابی بصورت یک‌طرفه و بعنوان اتصال خارجی مورد آزمایش قرار گرفته بود. نمونه انتخابی بنام LF30 بوده و برای ارزیابی عددی رفتار این اتصال از نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS version.6.10 استفاده شده است.

برای مدل‌سازی جوش‌ها در ABAQUS از قید Tie Constraint استفاده شده است، خصوصیت این قید آن است که از لغزش و جداشدگی گره-های سطح فرعی نسبت به گره‌های سطح اصلی جلوگیری میکند [۷]. در مش‌بندی اجزاء محدود، از المان Solid هشت گره‌ای با روش انتگرال-گیری مدهای ناسازگار (Incompatible Modes)، C3D8I ، استفاده شده است. شکل (۱) مدل اجزاء محدود نمونه LF30 را نمایش می‌دهد. شکل (۲) نیز جزئیات اتصال ورق‌ها به بال تیر و ستون را نشان می‌دهد.



شکل (۱): مدل اجزاء محدود نمونه LF30



شکل (۲): جزئیات اتصال ورق ها به بال تیر و ستون در نمونه LF30

جداول (۱) تا (۳) برترتیب مشخصات تیر، ستون قوطی، و ورقهای زیرسری و روسری همراه با مشخصات جوش محاسبه شده برای اتصال آنها را نشان می دهند.

جدول (۱): مشخصات تیر نمونه LF30 (I-37.4x20x0.8x1.2)

شعاع ژیراسیون حول محور ضعیف (cm)	مدول پلاستیک (cm ³)	ضخامت جان (cm)	ضخامت بال (cm)	عرض بال (cm)	عمق تیر (cm)	سطح مقطع تیر (cm ²)
ry	Zb	tw	tf	bf	db	Ab
۴٫۵۸	۱۱۱۴	۰٫۸	۱٫۲	۲۰	۳۷٫۴	۷۶٫۴۸

جدول (۲): مشخصات ستون قوطی مربوط به نمونه LF30 (BOX-40x40x2x2)

شعاع ژیراسیون حول هر دو محور (cm)	مدول پلاستیک (cm ³)	ضخامت جان (cm)	ضخامت بال (cm)	ابعاد مقطع ستون (cm)	سطح مقطع ستون (cm ²)
rx = ry	Zc	tw	tf	bc×dc	Ac
۴٫۶	۴۳۳۶	۲	۲	۴۰×۴۰	۳۰٫۴

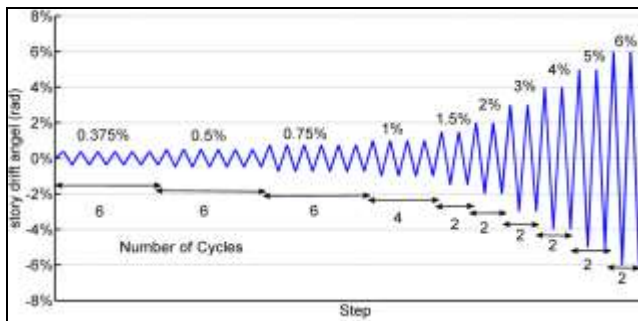
جدول (۳) : مشخصات ورق‌های زیرسری و روسری و جوش بکار رفته در نمونه LF30

نوع ورق	شکل ورق اتصال	پهنای ابتدای ورق (mm)	پهنای انتهای ورق (mm)	ضخامت ورق (mm)	طول ورق (mm)	تنش تسلیم ورق (Mpa)	بعد جوش گوشه (mm)	نوع الکتروود	مقاومت اسمی جوش گوشه (Mpa)	ضریب تقلیل مقاومت	ضریب بازرسی جوش
		bi	be	tp	Lp	Fyp	a	EXX	FEXX	Φ	β
ورق روسری		۲۰۰	۱۷۰	۲۵	۳۰۰	۲۹۰	۱۰	E7018	۴۹۰	۰,۷۵	۰,۷۵
ورق زیرسری		۲۳۰	۲۳۰	۲۰	۳۰۰	۲۹۰	۱۰	E7018	۴۹۰	۰,۷۵	۰,۷۵
ورق برشگیر		۱۲۰	۱۲۰	۸	۲۰۰	۲۹۰	۶	E7018	۴۹۰	۰,۷۵	۰,۷۵

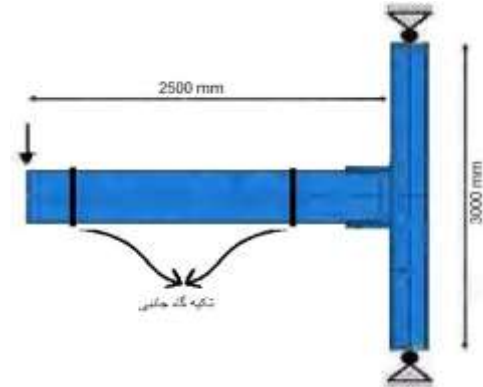
* اتصال ورق‌های زیرسری و روسری به بال ستون توسط جوش نفوذی کامل صورت می‌گیرد.

۳- شرایط مرزی و بارگذاری :

بارگذاری اعمال شده بصورت تغییر مکان بوده که در انتهای تیر اعمال می‌گردد، الگوی این بارگذاری منطبق با آیین‌نامه ANSI/AISC341-05 و FEMA 355D و همچنین پیوست E پروتکل بارگذاری SAC (SAC Loading Protocol) است، [۸،۹،۱۰]. شرایط مرزی اعمال شده به نمونه و تاریخچه بارگذاری اعمال شده به آنها در شکل (۳) نشان داده شده است.



(ب)

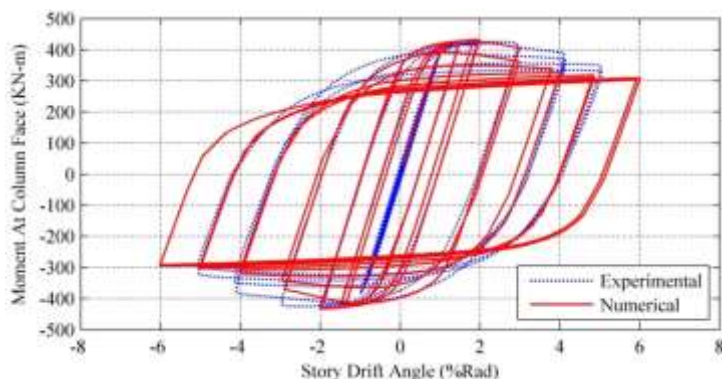


(الف)

شکل (۳) : الف : شرایط مرزی نمونه LF30 ، ب : تاریخچه بارگذاری اعمال شده به نمونه LF30

۴- بررسی صحت مدل‌سازی :

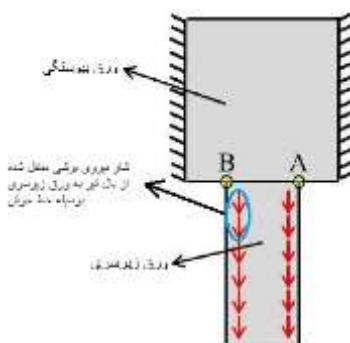
پس از مدل‌سازی نمونه در نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS، و اعمال بارگذاری چرخه‌ای که در شکل (۳) ب از بخش ۲-۲ به آن اشاره شد، نتایج مقایسه‌ی منحنی هیستریزیس نمونه‌های عددی و آزمایشگاهی در شکل (۴) نمایش داده شده‌اند. این شکل نشان می‌دهد که مدل تحلیلی چرخه‌ای با نتیجه آزمایشگاهی انطباق مناسبی دارد و مدل تحلیلی ضمن برآورد سختی زیرسازه در محدوده‌ی خطی، شروع غیرخطی شدن نمونه و همچنین باربری نهایی آن را بخوبی برآورد می‌نماید.



شکل (۴) : مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی نمونه LF30

۵- بررسی راهکارهای کاهش احتمال گسیختگی در ورق زیرسری :

با توجه به نتایج بدست آمده از مدل‌سازی عددی صورت گرفته برای نمونه LF30، مشخص شده که در محل اتصال ورق زیرسری به ستون، تمرکز تنش و کرنش وجود دارد، با توجه به شکل (۵)، که نحوه ارتباط ورق زیرسری تیر و ورق پیوستگی ستون را نشان می‌دهد، می‌توان سه دلیل برای این تمرکز تنش و کرنش در نقاط A و B متصور شد :



شکل (۵) : اتصال ورق زیرسری تیر، به ورق پیوستگی در ستون قوطی

الف) نزدیکی دو گوشه انتهایی ورق زیرسری به تکیه‌گاه‌ها (دو جان ستون قوطی).

ب) نزدیکی محل بار وارد شده به ورق زیرسری، به دو گوشه‌ی انتهایی آن.

ج) تغییر ناگهانی شیب انتقال نیرو از ورق زیرسری به بال ستون در دو گوشه‌ی انتهایی.

با توجه به دلایل ذکر شده می‌توان سه راه حل برای کاهش تمرکز تنش و کرنش پلاستیک و در نتیجه کاهش احتمال گسیختگی در دو گوشه‌ی انتهایی ورق زیرسری پیشنهاد کرد :

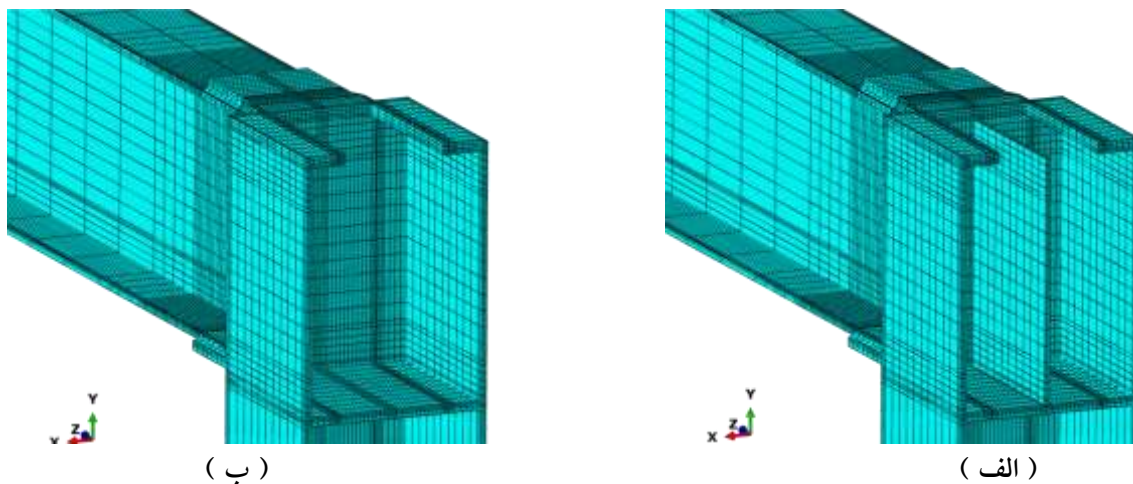
(۱) اضافه کردن یک ورق قائم در مرکز چشمه اتصال و جوش دادن چهار طرف این ورق به ورق‌های پیوستگی و بال‌های ستون قوطی (ایجاد یک تکیه‌گاه در وسط ورق زیرسری).

(۲) زیاد کردن عرض ورق زیرسری (دور کردن محل بار وارد شده به ورق زیرسری از دو گوشه‌ی انتهایی آن).

(۳) کله‌گاو کردن ورق زیرسری (کاهش تغییر ناگهانی شیب انتقال نیرو در دو گوشه‌ی انتهایی ورق زیرسری).

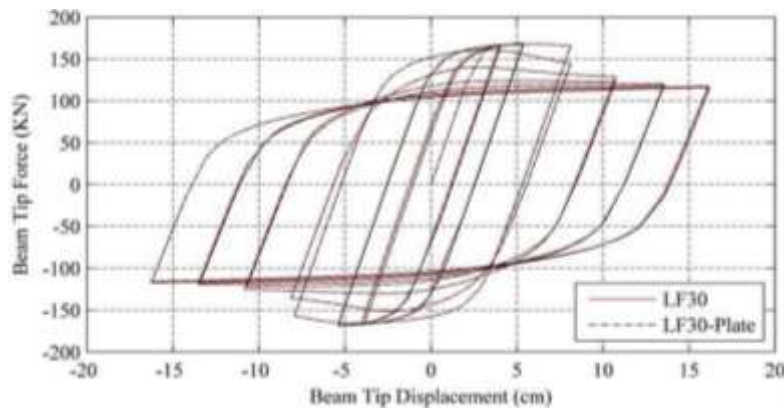
۶- بررسی رفتار اتصال در صورت وجود ورق قائم در مرکز چشمه اتصال :

برای بررسی اثر وجود ورق در مرکز چشمه اتصال بر عملکرد اتصال، رفتار دو مدل بنام‌های LF30 و LF30-Plate با یکدیگر مقایسه شدند. مطابق شکل (۶) که نمای برش‌خورده‌ی مدل اجزاء محدود نمونه‌های LF30 و LF30-Plate را نشان می‌دهد، در وسط چشمه اتصال مدل LF30-Plate یک ورق قائم روبروی جان تیر قرار دارد، باید توجه کرد که مجموع ضخامت دو جان ستون قوطی LF30 برابر با مجموع ضخامت دو جان و ورق قائم موجود در مرکز چشمه اتصال ستون LF30-Plate می‌باشد. سایر مشخصات این مدل‌ها با هم مشابه است.

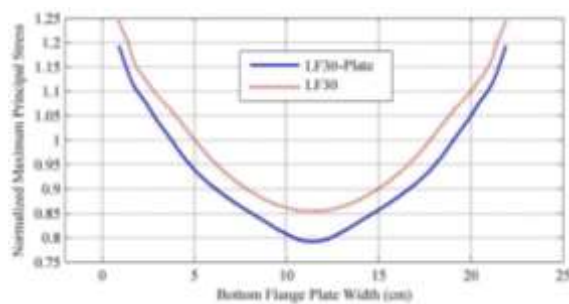


شکل (۶) : الف : مدل اجزاء محدود نمونه LF30-Plate ، ب : مدل اجزاء محدود نمونه LF30

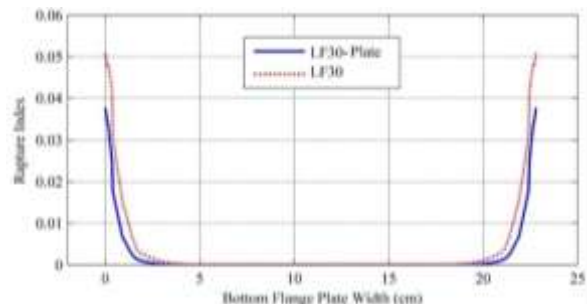
شکل (۷) بر هم‌نهی منحنی‌های هیستریزس این دو نمونه در دریفت ۶٪ را نشان می‌دهد. شکل (۸) نیز نمودار توزیع تنش اصلی ماکزیمم در دریفت ۲٪ در عرض ورق زیرسری، و مقادیر اندیس گسیختگی در ورق زیرسری در محل اتصال به ستون برای نمونه‌های LF30 و LF30-Plate را نشان می‌دهد.



شکل (۷) : مقایسه منحنی هیستریزس دو نمونه LF30 و LF30-Plate



(ب)



(الف)

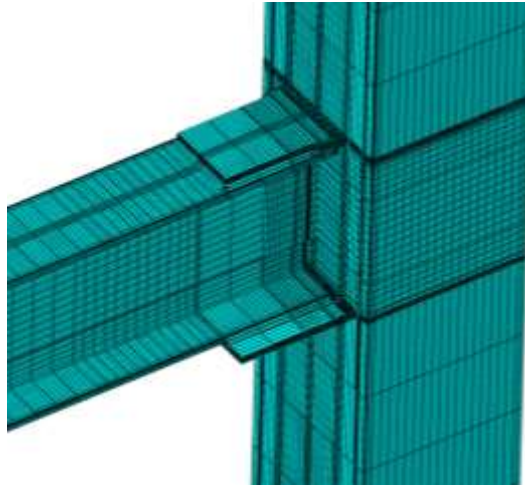
شکل (۸) : الف : مقادیر اندیس گسیختگی در ورق زیرسری در محل اتصال به ستون در دو نمونه LF30 و LF30-Plate

ب : توزیع تنش اصلی ماکزیمم در دریفت ۲٪ برای نمونه‌های LF30 و LF30-Plate

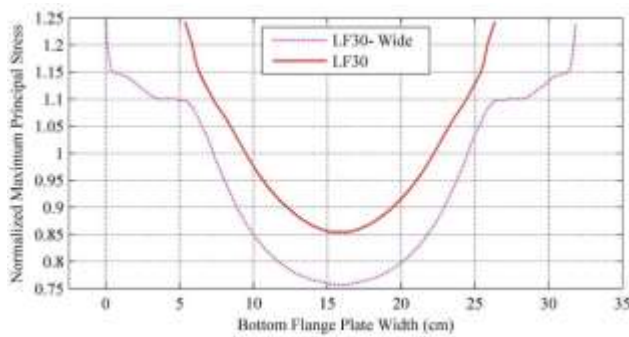
با توجه به این اشکال مشخص است که رفتار هیستریزس این دو نمونه با هم مشابه است. ماکزیمم مقدار اندیس گسیختگی در نمونه‌های LF30 و LF30-Plate در محل اتصال به ستون بترتیب ۰,۰۵۱ و ۰,۰۳۸ می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در صورت وجود ورق در وسط چشمه‌ی اتصال مقادیر اندیس گسیختگی حدود ۲۵٪ کاهش پیدا میکند. با توجه به شکل (۸) ب مشخص است که حداکثر تنش اصلی ورق زیرسری در محل اتصال به ستون در نمونه LF30-Plate نسبت به نمونه LF30 کاهش پیدا کرده است.

۷- بررسی رفتار اتصال در صورت افزایش عرض ورق زیرسری :

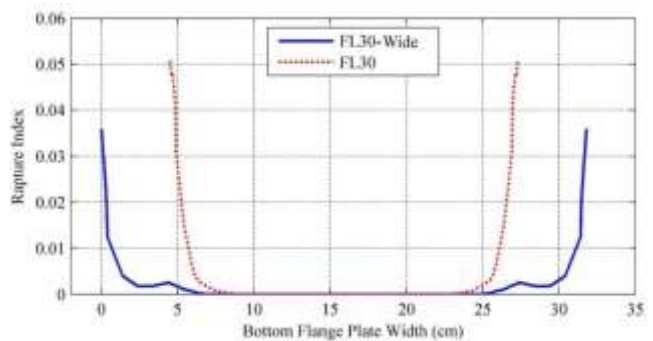
در این قسمت برای بررسی اثر عرض ورق زیرسری روی رفتار اتصال، عملکرد دو نمونه بنام‌های LF30 و LF30-Wide با هم مقایسه شده-اند، عرض ورق زیرسری در نمونه‌های LF30 و LF30-Wide بترتیب ۲۳ و ۳۲ سانتیمتر است (عدد ۳۰ که همراه با نام نمونه‌ها آمده نشانگر طول ورق‌های زیرسری و روسری است، نه عرض ورق‌ها)، (با تغییر ضخامت، سطح مقطع ورق زیرسری در هر دو نمونه ثابت نگهداشته شده است). شکل (۹) مدل اجزاء محدود نمونه LF30-Wide را نشان می‌دهد. شکل (۱۰) نمودار توزیع تنش اصلی ماکزیمم در دریفت ۲٪ در عرض ورق زیرسری، و مقادیر اندیس گسیختگی در ورق زیرسری در محل اتصال به ستون را برای نمونه‌های LF30 و LF30-Wide نشان می‌دهد.



شکل (۹) : مدل اجزاء محدود نمونه LF30-Wide



(ب)



(الف)

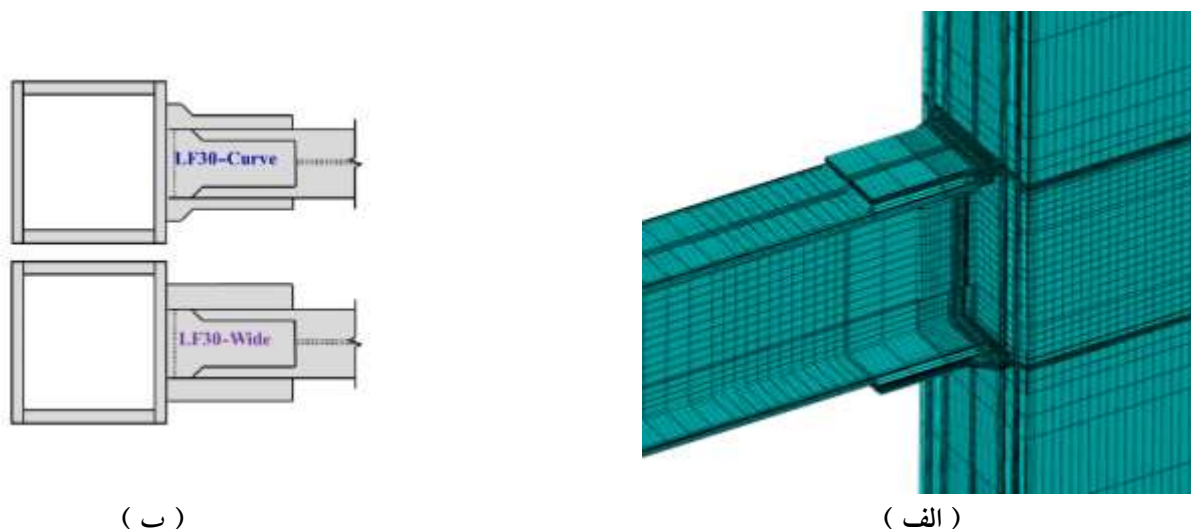
شکل (۱۰) : الف : مقادیر اندیس گسیختگی در ورق زیرسری در محل اتصال به ستون در دو نمونه LF30 و LF30-Wide

ب : توزیع تنش اصلی ماکزیمم در دریفت ۲٪ برای نمونه‌های LF30 و LF30-Wide

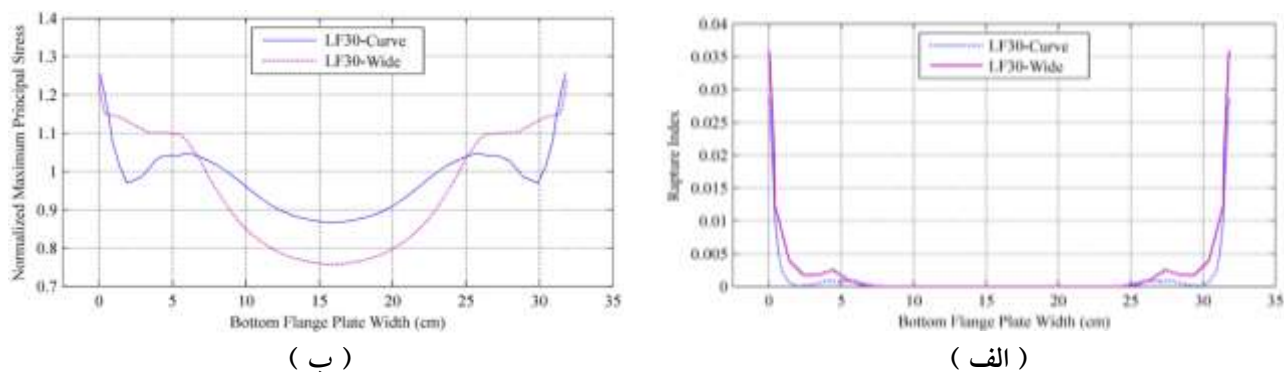
با توجه به اشکال مشخص است که با افزایش عرض ورق زیرسری (با ثابت نگهداشتن سطح مقطع)، مقادیر ماکزیمم اندیس گسیختگی از ۰,۰۵ به ۰,۰۳۵ رسیده و حدوداً ۳۰٪ کاهش پیدا می‌کند، ولی مقدار ماکزیمم تنش اصلی در هر دو نمونه تقریباً ثابت مانده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که برای یک مقدار مساحت تعیین شده طبق روش طراحی برای مقطع ورق زیرسری، بهتر است حداکثر عرض ممکن برای ورق زیرسری انتخاب شود، و بر مبنای این عرض، ضخامت ورق تعیین گردد. حداکثر عرض ممکن برای ورق زیرسری بر این مبنا محاسبه می‌شود که در آن کماتش موضعی رخ ندهد.

۸- بررسی رفتار اتصال در صورت ایجاد انحناء در گوشه‌های ورق زیرسری (کله‌گای کردن ورق زیرسری):

بمنظور بررسی سومین روش پیشنهاد شده برای کاهش احتمال گسیختگی ورق زیرسری در محل اتصال تیر به ستون قوطی، دو نمونه بنام‌های LF30-Curve و LF30-Wide با هم مقایسه شده‌اند. تنها تفاوت این دو نمونه این است که ورق زیرسری در نمونه LF30-Curve بصورت کله‌گای اجرا شده، اما در نمونه LF30-Wide ورق زیرسری مستطیلی می‌باشد. شکل (۱۱) مدل اجزاء محدود نمونه LF30-Curve و شکل شماتیک هر دو نمونه LF30-Curve و LF30-Wide را نشان می‌دهد. شکل (۱۲) نمودار توزیع تنش اصلی ماکزیمم در دریفتم ۲٪ در عرض ورق زیرسری، و مقادیر اندیس گسیختگی در ورق زیرسری در محل اتصال به ستون را برای نمونه‌های LF30-Curve و LF30-Wide نشان می‌دهد.



شکل (۱۱): الف: مدل اجزاء محدود نمونه LF30-Curve، ب: شکل شماتیک نمونه‌های LF30-Wide و LF30-Curve



شکل (۱۲): الف: مقادیر اندیس گسیختگی در ورق زیرسری در محل اتصال به ستون در دو نمونه LF30-Wide و LF30-Curve
ب: توزیع تنش اصلی ماکزیمم در دریفتم ۲٪ برای نمونه‌های LF30-Wide و LF30-Curve

با توجه به نتایج بدست آمده مشخص است که ماکزیمم مقدار اندیس گسیختگی در نمونه‌های LF30-Wide و LF30-Curve در محل اتصال به ستون بترتیب ۰,۰۳۶ و ۰,۰۲۸ می‌باشد، پس می‌توان نتیجه گرفت که با کله‌گاوی کردن ورق زیرسری (ورق روسری نیز بصورت کله‌گاوی اجرا می‌شود) اندیس گسیختگی تا ۲۰٪ کاهش یافته است. مقدار ماکزیمم تنش اصلی در دو نمونه تقریباً یکسان است، اما در نواحی کناری ورق- زیرسری تنش‌ها در نمونه LF30-Curve خیلی کمتر از نمونه LF30-Wide بوده است.

۹- نتیجه‌گیری

در این مقاله پس از صحت‌سنجی مدل عددی و آزمایشگاهی، و بررسی نمونه‌های عددی ساخته شده براساس سه روش پیشنهاد شده برای کاهش احتمال گسیختگی در گوشه‌های ورق زیرسری در محل اتصال به ستون، نتایج زیر حاصل شد :

- * در اتصال تیر به ستون قوطی با استفاده از ورق‌های زیرسری و روسری، در دو گوشه‌ی انتهایی ورق زیرسری در محل اتصال به ستون، تمرکز تنش و کرنش وجود دارد که احتمال گسیختگی ورق اتصال در این ناحیه را افزایش می‌دهد.
- * اضافه کردن یک ورق قائم در مرکز چشمه اتصال (روبروی جان تیر) سبب کاهش ۲۵ درصدی اندیس گسیختگی در محل اتصال ورق زیرسری به ستون می‌شود، این کاهش اندیس گسیختگی می‌تواند کمک زیادی به کاهش احتمال گسیختگی ورق زیرسری کند.
- * افزایش عرض ورق زیرسری (با ثابت نگهداشتن سطح مقطع) اگر چه تأثیر چندانی روی مقدار ماکزیمم تنش اصلی نداشته، اما اندیس گسیختگی ورق زیرسری را در محل اتصال ورق به ستون تا ۳۰ درصد کاهش داده که می‌تواند کمک زیادی به جلوگیری از گسیختگی اتصال بکند.
- * کله‌گاوی کردن ورق زیرسری در محل اتصال به ستون هم اندیس گسیختگی ورق زیرسری را در محل اتصال به ستون ۲۰ درصد کاهش داده، و هم ماکزیمم تنش اصلی را در دو گوشه ورق (در محل اتصال به ستون که تمرکز تنش و گسیختگی ورق زیرسری را تهدید می‌کنند) نسبت به نمونه‌ای که ورق آن مستطیلی اجرا شده، کاهش داده است.
- * در میان روش‌های مورد بررسی، روش افزایش ورق زیرسری (با ثابت نگهداشتن سطح مقطع) بیشترین تأثیر را در کاهش اندیس گسیختگی دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که برای یک مقدار مساحت تعیین شده طبق روش طراحی برای مقطع ورق زیرسری، بهتر است حداکثر عرض ممکن برای ورق انتخاب شود، و بر مبنای این عرض، ضخامت آن تعیین گردد. حداکثر عرض ممکن برای ورق زیرسری بر این مبنای محاسبه می‌شود که در آن کماتش موضعی رخ ندهد.

مراجع

[1] Tremblay, R., Timlez, P., Bruneau, M. and Filiatrault, A, (1995), "Performance of Steel Structures During the 1994 Northridge Earthquake", Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 22

[2] Youssef, N.F.G., Bonowitz, D. and Gross, J.H. (1995), "A Survey of Steel Moment-Resisting Frame Buildings Affected by the 1994 Northridge Earthquake", National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, Report No. NISTIR 5625.

[3] Tsai KC, Popov EP, (1990), "Cyclic behavior of end-plate moment connections". Journal of Structural Engineering, ASCE, 2917-2930.

[4] Shanmugam. N. E., Ting. L. C. and Lee. S. L., (1991), "*Behaviour of I-beam to box-column connections stiffened externally and subjected to fluctuating loads*". Journal of Constructional Steel Research 20, 129-148.

[5] Ghobadi. M. S., Ghassemieh. M., Mazroi. A., (2009) , "*Seismic performance of ductile welded connections using T-stiffener*". Journal of Constructional Steel Research 65. American Welding Society, Miami. FL, 766-775

[6] غلامی، محمد، دیلمی، اردشیر، تهرانی زاده، محسن (۱۳۹۱)، عملکرد اتصال خمشی تیر I شکل به ستون قوطی تحت بارگذاری چرخه ای، دکترای عمران (سازه)، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۱۹-۱۲۰

[7] Hibbit, Carlson & Sorensen Inc , (2010), "*ABAQUS version 6.10-1 user's manual*", Michigan, Chapter 15, 1-11

[8] ANSI/AISC 341-05, (2005), "*Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*", American Institute of Steel Construction, Chicago, 87-88.

[9] FEMA-355D, September, (2000), "*State of the art report on connection performance*", Federal Emergency Management Agency, Chapter 2, 29

[10] SAC/BD-97/02 Version 1.1, (1997-2002) "*Protocol for Fabrication, Inspection, Testing, and Documentation of Beam-Column Connection Tests and Other Experimental Specimens*", SAC Committee, Appendix-E, 1-5