



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دوره چهل و شش، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۳، صفحه ۳۹ تا ۴۸
Vol. 46, No. 1, Summer 2014, pp. 39-48



نشریه علمی - پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)
Amirkabir Journal of Science & Research (Civil & Environmental Engineering)
(AJSR - CEE)

بررسی رفتار چرخه‌ای اتصال خمشی تیر به ستون قوطی با استفاده از ورق - های بال جوش شده و لچکی

اردشیر دیلمی^{۱*}، علیرضا طلوع کیان^۲

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۲- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(دریافت ۱۳۸۸/۹/۹، پذیرش ۱۳۹۰/۷/۹)

چکیده

در این مقاله رفتار اتصال خمشی تیر I-شکل به ستون قوطی با استفاده از ورق بال جوش شده مورد بررسی قرار گرفته است. در این اتصال بال تیر بطور مستقیم به بال ستون متصل نمی‌شود. ورق‌های اتصال بال توسط جوش گوشه به بال‌های تیر و بوسیله جوش شیاری با نفوذ کامل به بال ستون متصل می‌شوند. برای بررسی رفتار چرخه‌ای این اتصال از نرم‌افزار اجزای محدود غیر خطی آباکوس ۶.۸.۱ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند که در جوش شیاری متصل‌کننده ورق‌های اتصال بال تیر به بال ستون، تنش زیادی وجود دارد و احتمال شکست ترد و در نتیجه رفتار غیر شکل‌پذیر اتصال وجود دارد. برای کاهش تنش در این جوش شیاری از ورق‌های تقویت‌کننده دوزنقه‌ای شکل (لچکی) تک و زوج روی هر یک از ورق‌های اتصال بال تیر استفاده شده است. لچکی‌ها توسط جوش شیاری به بال ستون و توسط جوش گوشه به ورق‌های اتصال بال تیر متصل شده‌اند. نتایج تحلیل اجزای محدود نشان می‌دهند که استفاده از لچکی گرچه اثر مهمی در رفتار کلی اتصال نمی‌گذارد ولی موجب کاهش تنش در جوش شیاری متصل‌کننده ورق‌های اتصال بال تیر به بال ستون می‌شود.

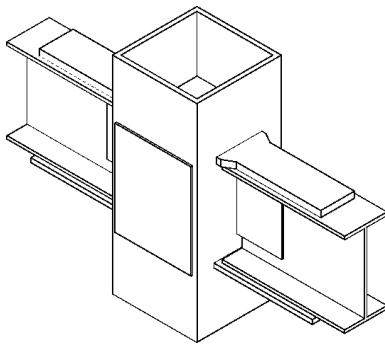
کلمات کلیدی

اتصال خمشی، تیر I-شکل، ستون قوطی، رفتار چرخه‌ای، شکست ترد، تقویت‌کننده دوزنقه‌ای شکل (لچکی).

* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: Deylamia@aut.ac.ir

۱- مقدمه

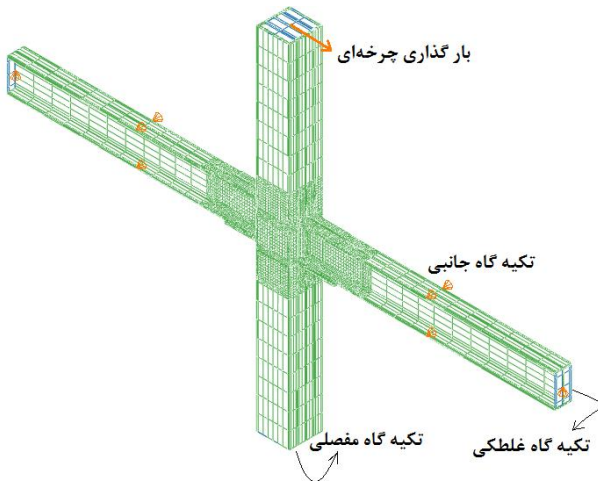
پیوستگی در تراز ورق روسری و زیرسری، در داخل ستون قوطی توسط جوش شیاری با نفوذ کامل به ورق‌های ستون متصل شده‌اند.



شکل (۱): اتصال متداول تیر به ستون قوطی

۲- بررسی تحلیلی اتصال متداول تیر به ستون قوطی

برای ارزیابی اتصال خمشی متداول تیر I-شکل به ستون قوطی، تحلیل عددی در مورد طرح^۴ ریز سازه اتصال دو طرفه انجام شده است. طرح ریز سازه از دو تیر IPE300 و ستون قوطی با مقطع $15 \times 15 \times 300 \times 300$ میلی‌متر تشکیل شده است. با فرض این که نقطه عطف در وسط دهانه تیرها و ارتفاع ستون-ها تشکیل می‌شود، نصف دهانه تیر و ارتفاع ستون در طراحی^۵ اتصال دوطرفه در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب ارتفاع کلی ستون $3/2$ متر و دهانه تیر $2/5$ متر است. نمای کلی ریز سازه در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲): مدل ریز سازه اتصال دو طرفه

مشخصات ورق‌های اتصال در جدول (۱) ملاحظه می‌شود. t_{ip} ورق برشی جان تیر، ورق پیوستگی بالایی و پایینی و b_{bp} و l_{bp} به ترتیب طول و عرض ورق زیرسری است. جزئیات ورق روسری در شکل (۳) نشان داده شده است. بدلیل این که طبق ضوابط

زلزله ۱۹۹۴ در نرتریج^۱ به بسیاری از اتصالات در قاب‌های خمشی آسیب رساند. نتایج تحقیقات در مورد آسیب‌های وارد به اتصالات قاب‌های خمشی در زلزله نرتریج نشان داد که بیشتر خرابی‌ها ناشی از شکست ترد جوش شیاری متصل‌کننده بال تیر به بال ستون بوده و شکست معمولاً از محل سوراخ دسترسی به جوش آغاز شده است. شکست ترد در اتصالات پیش از زلزله نرتریج موجب شده که اتصال تغییر شکل غیر الاستیک کمی داشته باشد و در نتیجه قاب خمشی نیز شکل‌پذیری نامناسبی از خود نشان دهد [۱-۳].

پس از زلزله نرتریج روشهایی برای افزایش شکل‌پذیری و اصلاح رفتار اتصال پیشنهاد شد که شامل اصلاح روش‌های جوشکاری، اصلاح هندسه سوراخ دسترسی به جوش، استفاده از الکتروود با چقرمگی زیاد^۲ و اصلاح روش طراحی اتصال بود. در طراحی اتصالات پس از زلزله نرتریج معمولاً دو روش برای بهبود عملکرد اتصال بکار گرفته شده که یکی شامل تقویت ناحیه اتصال و دیگری ضعیف نمودن تیر خارج از ناحیه اتصال است. در این روش‌ها هدف این است که مفصل پلاستیک در تیر دور از وجه ستون تشکیل شده و از بروز شکست ترد جلوگیری شود و همچنین در هنگام زلزله سازه وارد ناحیه غیرخطی شده و استهلاک انرژی رخ دهد [۴-۶].

اتصال ورق بال جوش شده^۳ یکی از اتصالات تایید شده پس از زلزله نرتریج است. در این اتصال بال‌های تیر بطور مستقیم به بال ستون جوش نمی‌شود و اتصال از طریق ورق‌های اتصال بال انجام می‌شود. این ورق‌ها به هریک از دو بال تیر توسط جوش گوشه و به بال ستون توسط جوش شیاری با نفوذ کامل متصل می‌شوند [۷]. در ایران استفاده از این نوع اتصال متداول است و معمولاً به ورق جوش شده به بال بالایی و پایینی، به ترتیب ورق روسری و زیرسری گفته می‌شود.

در ایران بدلیل عدم تولید مقاطع بال پهن، بطور وسیع از ستون‌های زوج IPE و ستون قوطی در سازه‌های فولادی استفاده می‌شود. ستون قوطی بدلیل داشتن مقاومت خمشی زیاد در دو جهت اصلی مقطع و همچنین سختی پیچشی مناسب و دسترسی آسان به وجه ستون برای اتصال تیر، مورد توجه طراحان سازه‌های فولادی است.

در این مقاله رفتار چرخه ای غیرخطی اتصال دو طرفه تیر I-شکل به ستون قوطی با استفاده از ورق‌های روسری و زیرسری بررسی می‌شود. نمای کلی از اتصال متداول تیر I-شکل به ستون قوطی در شکل (۱) نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۱) دیده می‌شود ورق روسری متناسب با شرایط اجرایی به شکل خاصی (کله گاوی) طراحی شده است. در این اتصال ورق‌های

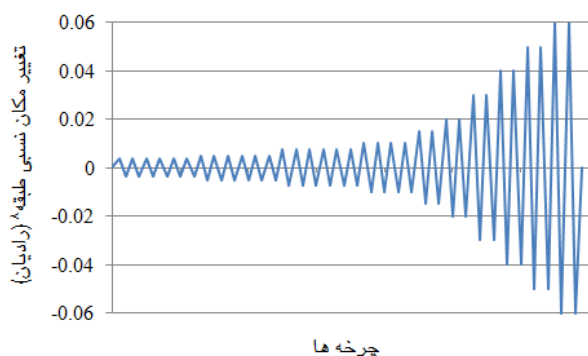
۰/۳ است. معیار تسلیم فون مایسز^۷ برای فولاد انتخاب شده است. از قانون سخت شوندهگی جنبشی برای طراحی رفتار چرخه‌ای فولاد استفاده شده است.

جوش شیاری متصل‌کننده ورق روسری و زیر سری به بال ستون طراحی شده و رفتار مصالح جوش الاستیک خطی با مدول الاستیسیته مساوی با ۲۰۰ (GPa) در نظر گرفته شده است.

برای طراحی شرایط تکیه‌گاهی، در دو انتهای ستون و نوک تیرها، از ورق‌های صلب استفاده شده است. این ورق‌ها از ایجاد تمرکز تنش در مقطع جلوگیری می‌نمایند. طبق ضوابط ارائه شده در FEMA-355D [۵] در مورد شرایط تکیه‌گاهی طرح ریز سازه اتصال دو طرفه، انتهای تحتانی ستون روی تکیه‌گاه مفصلی و انتهای آزاد تیرها روی تکیه‌گاه غلطکی قرار داده شده است. برای جلوگیری از وقوع کمانش جانبی-پیچشی تیر، مهار جانبی در وسط دهانه تیرها تعبیه شده است.

بارگذاری توسط اعمال تغییر مکان چرخه‌ای طبق الگوی بارگذاری آیین‌نامه لرزه‌ای AISC [۱۰]، به گره میانی ورق صلب تعبیه شده در انتهای بالایی ستون، انجام شده است. الگوی بارگذاری در شکل (۵) نمایش داده شده است.

برای بررسی درستی عملکرد مدل ساخته شده، نمونه آزمایشگاهی RC4 که توسط قبادی و همکاران [۱۱] مورد آزمایش قرار گرفته بود، طراحی شد. همانطور که در شکل (۶) دیده می‌شود برابری مناسبی بین نتایج تحلیل اجزای محدود و نمونه آزمایشگاهی پیش گفته وجود دارد.

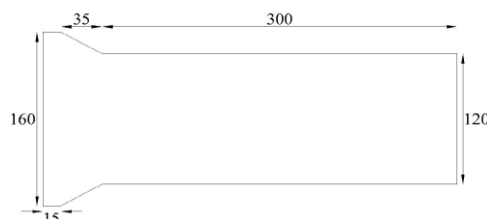


شکل (۵): الگوی بارگذاری چرخه‌ای آیین‌نامه لرزه‌ای AISC

آیین‌نامه AISC [۸] جان ستون قوطی در محل چشمه اتصال نیاز به تقویت داشت، به دو جان ستون قوطی در این ناحیه ورق به ابعاد $۳۳۷ \times ۲۷۰ \times ۶$ میلی‌متر جوش داده شده است.

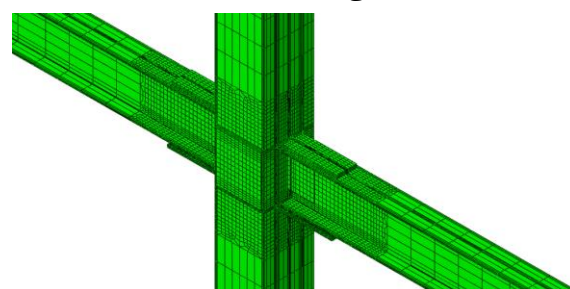
جدول (۱): مشخصات ورق‌های اتصال (ابعاد بر حسب میلی‌متر)

t_{tp}	t_{bp}	t_{sh}	t_{tcp}	t_{bcp}	l_{bp}	b_{bp}
۲۲	۱۵	۵	۲۲	۱۵	۳۵۰	۱۸۰



شکل (۳): جزئیات ورق روسری (ابعاد بر حسب میلی‌متر است)

برای طراحی اتصال از نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس ۶.۸.۱ با قابلیت در نظر گرفتن اثرات غیر خطی هندسی و مصالح استفاده شده است. برای طراحی همه اجزای اتصال به غیر از ورق‌های روسری، زیرسری، بال‌های ستون قوطی و بال‌های تیر از المان حجمی آجری شکل ۸ گره‌ای که دارای سه درجه آزادی انتقالی در هر گره است، استفاده شده است. در مورد ورق‌های روسری، زیرسری، بال‌های ستون قوطی و بال‌های تیر از المان حجمی آجری شکل ۸ گره‌ای با فرمولاسیون مود ناسازگار^۶ استفاده شده است، زیرا این المان خمش ورق‌های نازک را بهتر در نظر می‌گیرد [۹]. برای دقت بیشتر در تحلیل، در ناحیه اتصال از مش‌بندی ریزتری استفاده شده است. شکل (۴) وضعیت مش‌بندی مدل را نشان می‌دهد.

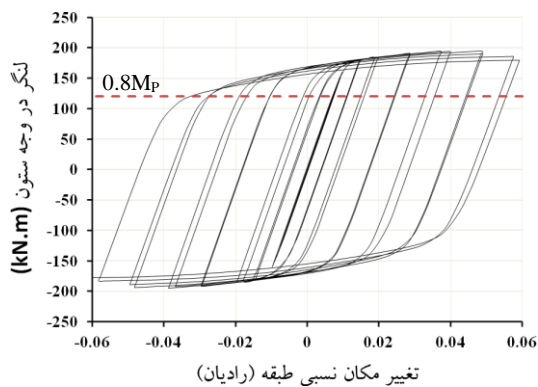


شکل (۴): مش بندی طرح اجزای محدود اتصال

طرح از فولاد ST37 در نظر گرفته شده است. برای این فولاد از رابطه دو خطی تنش-کرنش با در نظر گرفتن رفتار سخت شوندهگی کرنشی استفاده شده است. شیب خط اول که تا حد تسلیم فولاد ادامه می‌یابد مساوی با مدول الاستیسیته فولاد، ۲۰۰ (GPa) است. تنش حد تسلیم فولاد ۲۴۰ (MPa) است. بعد از نقطه تسلیم، خط دوم رابطه تنش-کرنش تا تنش نهایی فولاد که مساوی ۳۷۰ (MPa) است را نشان می‌دهد. کرنش فولاد در تنش نهایی ۰/۲ در نظر گرفته شده است. ضریب پواسون فولاد

در تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان از ۸۰ درصد لنگر پلاستیک تیر بیشتر است (خطچین). همچنین اتصال قادر به تحمل تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۶ رادیان است. بنابراین طبق ضوابط آیین‌نامه لرزه‌ای AISC [۱۰] این اتصال قابل استفاده در قاب خمشی ویژه است. با توجه به اینکه مقاومت اتصال به میزان قابل توجهی بیشتر از لنگر پلاستیک تیر شده است شکل- پذیرگی سامانه توسط تیر کنترل می‌شود و می‌توان اتصال را الاستیک در نظر گرفت.

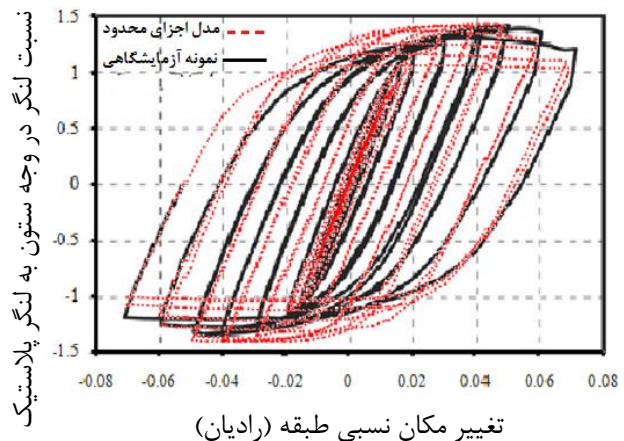
در شکل (۹) توزیع تنش طولی در جوش شیاری متصل- کننده ورق روسری و زیر سری به بال ستون در پایان چرخه بارگذاری متناظر با تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان نمایش داده است. در این شکل برای درک بهتر مقادیر تنش طولی جوش بر مقاومت نهایی کششی الکتروود E6013 که مساوی با ۴۲۰ (MPa) است تقسیم شده است.



شکل (۸): نمودار چرخه ای لنگر-تغییر مکان نسبی طبقه مدل اتصال متداول

همانطور که در شکل (۹) دیده می‌شود، مقدار تنش در جوش، در دو لبه ورق روسری و زیرسری بطور قابل ملاحظه‌ای زیاد شده است. زیاد شدن تنش در دو لبه ورق روسری و زیرسری بدلیل اثر انتهای^۱ و الاستیک در نظر گرفتن مصالح جوش در طراحی است که موجب تمرکز تنش می‌شود [۱۲].

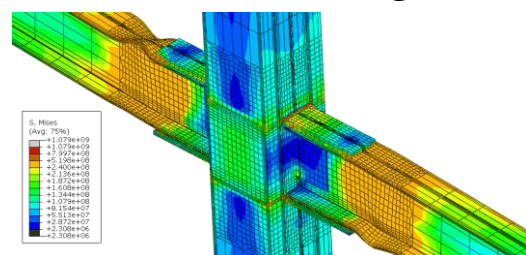
اگر از وضعیت خاص تنش جوش در لبه‌ها صرف‌نظر شود، توزیع تنش در بقیه نقاط جوش ورق روسری بطور تقریبی یکنواخت است و مقدار تنش در جوش تقریباً برابر با مقاومت نهایی کششی الکتروود E6013 است. در مورد ورق زیرسری، اگر از تنش در لبه‌ها صرف نظر شود، دیده می‌شود که توزیع تنش در جوش ورق زیرسری متفاوت با ورق روسری است و دلیل آن تفاوت در هندسه این دو ورق است. در نزدیکی لبه‌های ورق زیرسری تمرکز تنش دیده می‌شود که بعلافت سختی فراهم شده توسط دو جان ستون قوطی است. در اتصال به ستون قوطی، دو جان ستون بدلیل داشتن سختی بیشتر نسبت به بال، نیروی بیشتری دریافت می‌نمایند و بنابراین مسیر انتقال نیرو از بال تیر



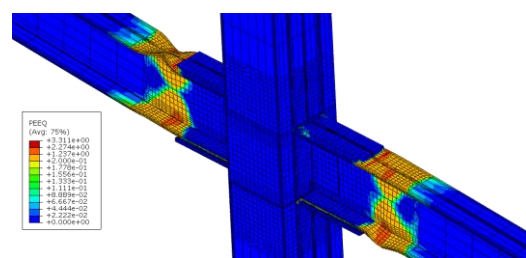
شکل (۶): مقایسه نتایج آزمایشگاهی قبادی و همکاران و تحلیل اجزای محدود طرح ساخته شده در این مقاله

۳- نتایج تحلیل چرخه‌ای طرح اتصال متداول

توزیع تنش فون مایسز و کرنش پلاستیک معادل در پایان بارگذاری چرخه‌ای (تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۶ رادیان) در شکل (۷) نمایش داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، مفصل پلاستیک در تیر دور از وجه ستون و خارج از محدوده ورق‌های روسری و زیرسری تشکیل شده است. جان و بال تیر در محل مفصل پلاستیک بطور موضعی کمانش نموده‌اند. ستون، ورق‌های روسری و زیرسری و چشمه اتصال در طول بارگذاری در حالت الاستیک باقی مانده‌اند.



(الف)



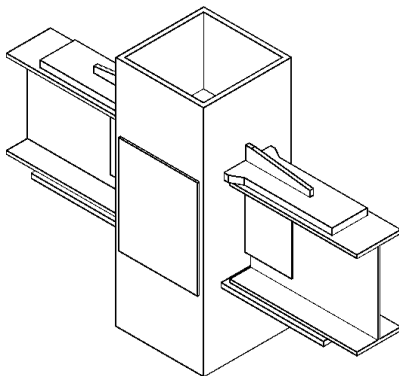
(ب)

شکل (۷): (الف) توزیع تنش فون مایسز (ب) توزیع کرنش پلاستیک معادل برای طرح اتصال متداول در انتهای بارگذاری چرخه‌ای (تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۶ رادیان)

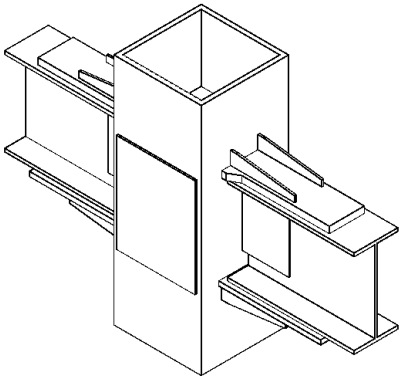
نمودار چرخه‌ای "لنگر-تغییر مکان نسبی طبقه" در شکل (۸) نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود، مقاومت اتصال

شده با لچکی تک و دیگری اتصال تقویت‌شده با لچکی زوج در نظر گرفته شد. نمای کلی این دو طرح در شکل (۱۰) نشان داده شده است. اتصال لچکی‌ها به بال ستون توسط جوش شیاری با نفوذ کامل و به ورق‌های روسری و زیرسری توسط جوش گوشه دو طرفه انجام شده است.

جزئیات هندسی لچکی‌ها در شکل (۱۱) نمایش داده شده است. ضخامت لچکی مدل اتصال تقویت شده با لچکی تک و اتصال تقویت شده با لچکی زوج به ترتیب ۱۲ و ۶ میلی‌متر است. در اتصال تقویت شده با لچکی زوج، محل قرارگیری دو لچکی به نحوی است که فاصله لبه خارجی لچکی‌ها تا لبه طولی ورق‌های روسری و زیرسری ۱۰ میلی‌متر است.

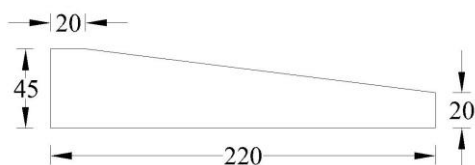


اتصال تقویت شده با لچکی تک



اتصال تقویت شده با لچکی زوج

شکل (۱۰): نمای کلی دو طرح اتصال تقویت شده با لچکی



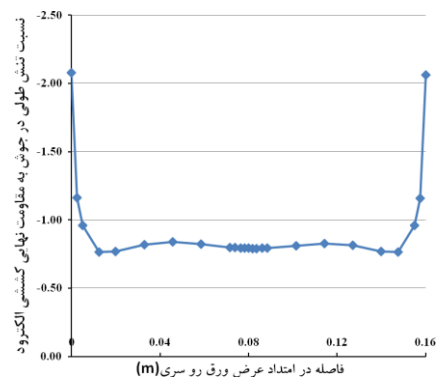
شکل (۱۱): جزئیات لچکی (ابعاد بر حسب میلی‌متر است)

۵- بررسی تحلیلی اتصال تقویت شده با لچکی

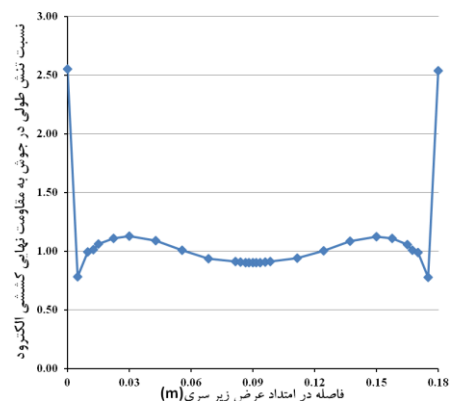
برای ارزیابی رفتار اتصال تقویت شده با صفحات لچکی، طرح ریز سازه اتصال دو طرفه تقویت شده با لچکی تک و لچکی زوج

به سمت دو جان ستون است و موجب تمرکز تنش در نزدیکی لبه‌های ورق زیرسری شده است [۱۳].

همانطور که در شکل (۹) دیده می‌شود، تنش در جوش شیاری ورق زیرسری از مقاومت نهایی کششی الکتروود E6013 بیشتر شده است. زیاد بودن تنش در جوش، احتمال وقوع ترک و شکست ترد زودرس در جوش را افزایش می‌دهد. رخ دادن شکست در جوش، موجب کاهش شدید مقاومت و شکل‌پذیری اتصال و در نتیجه عملکرد نامطلوب سازه می‌شود. بنابراین باید راه حلی برای کاهش تنش در جوش یافت.



(الف)



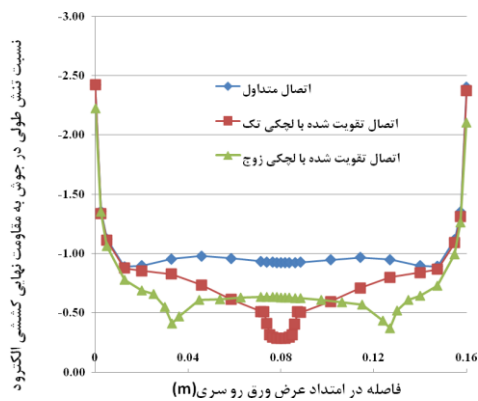
(ب)

شکل (۹): توزیع تنش طولی در جوش شیاری نسبت به مقاومت نهایی کششی الکتروود E6013 در تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان در (الف) ورق روسری (ب) ورق زیرسری

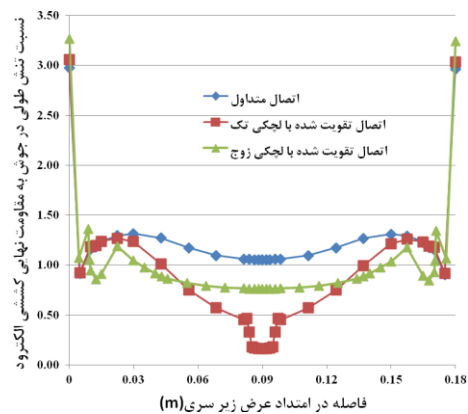
۴- تقویت اتصال متداول با استفاده از لچکی

همانطور که در شکل (۹) دیده شد، تنش در جوش شیاری متصل‌کننده ورق روسری و زیرسری به بال ستون زیاد است. در این تحقیق برای کاهش تنش در این جوش، اتصال، توسط صفحات لچکی که روی هر یک از ورق‌های روسری و زیرسری جوش شده، تقویت شده است.

دو نوع مختلف اتصال تقویت‌شده با لچکی، یکی اتصال تقویت

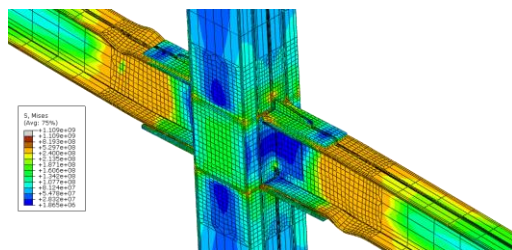


(الف)

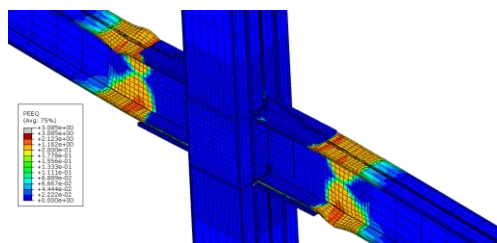


(ب)

شکل (۱۲): توزیع تنش طولی در جوش شیاری نسبت به مقاومت نهایی کششی الکتروود E6013 در تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان در الف) ورق روسری ب) ورق زیرسری



(الف)



(ب)

اتصال تقویت شده با لچکی تک

شکل (۱۳): الف) توزیع تنش فون مایسز ب) توزیع کرنش پلاستیک معادل در انتهای بارگذاری چرخه‌ای (تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۶ رادیان)

ساخته شد. برای حذف اثر ابعاد تیر، ستون و ورق‌های متصل-کننده بر رفتار اتصال، همه مشخصات این دو طرح دقیقاً مشابه طرح انتخاب شده برای بررسی اتصال متداول در نظر گرفته شد. مدلسازی اجزای محدود، شرایط تکیه‌گاهی و فرایند بارگذاری بر روی مدل‌ها نیز دقیقاً مشابه مدل اتصال متداول است.

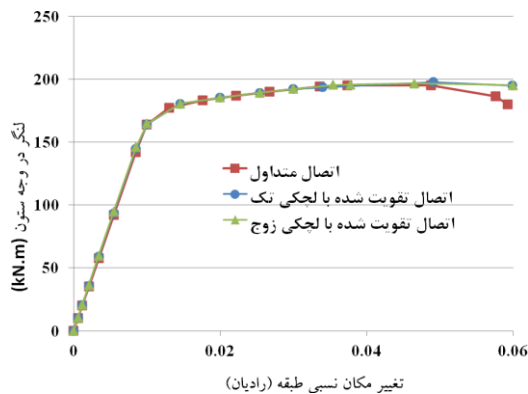
۶- نتایج تحلیل چرخه‌ای طرح‌های اتصال تقویت شده با لچکی

نمودار توزیع تنش در جوش شیاری متصل‌کننده ورق روسری و زیرسری به بال ستون برای اتصال متداول، اتصال تقویت شده با لچکی تک و اتصال تقویت شده با لچکی زوج در پایان چرخه بارگذاری متناظر با تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان در شکل (۱۲) نشان داده شده است. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، استفاده از لچکی موجب شده تا تنش در جوش بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد. کاهش تنش موجب کم شدن خطر ایجاد ترک و شکست در جوش می‌شود و همچنین شرایطی را فراهم می‌سازد تا نیازی به استفاده از الکتروود با مقاومت بالا نباشد. از مقایسه توزیع تنش در اتصال تقویت شده با لچکی تک و اتصال تقویت شده با لچکی زوج نتیجه گرفته می‌شود که استفاده از لچکی زوج سبب توزیع یکنواخت‌تر تنش در محل اتصال شده، ضمن اینکه محل تنش حداقل نیز با توجه به جایجا شدن محل لچکی‌ها، جایجا شده است.

توزیع تنش فون مایسز و کرنش پلاستیک معادل برای اتصال تقویت شده با لچکی تک و اتصال تقویت شده با لچکی زوج در شکل (۱۳) نشان داده شده است. با توجه به این شکل دیده می‌شود که در اتصالات تقویت شده با لچکی همانند اتصال متداول، مفصل پلاستیک در تیر دور از وجه ستون تشکیل شده و بال و جان تیر در محل تشکیل مفصل دچار کماتش موضعی شده‌اند.

نمودارهای چرخه‌ای "لنگر-تغییر مکان نسبی طبقه" برای اتصال تقویت شده با لچکی تک و اتصال تقویت شده با لچکی زوج در شکل (۱۴) نمایش داده شده‌اند. مانند اتصال متداول، این دو اتصال تقویت شده نیز طبق ضوابط لرزه‌ای آیین‌نامه AISC [۱۰] شرایط استفاده در قاب خمشی ویژه را دارند.

مکان نسبی طبقه " سه اتصال بررسی شده و در شکل (۱۵) نمایش داده شده است. همانطور که دیده می‌شود، رفتار کلی سه طرح اتصال مشابه به هم است، زیرا مفصل پلاستیک بعلت وجود ورق روسری و زیرسری دور از محدوده لچکی‌ها تشکیل شده است و در واقع تغییر شکل غیر الاستیک طرح‌ها تحت اثر لچکی نیست. تنها تفاوت در رفتار کلی سه مدل، در تغییر مکان نسبی طبقه بزرگتر از ۰/۰۵ رادیان مشاهده می‌شود که در آن، اتصال متداول دچار افت مقاومت شده اما دو اتصال تقویت شده با لچکی افت مقاومت ندارند.



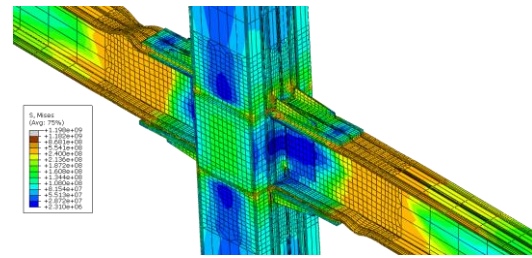
شکل (۱۵): نمودار پوش منحنی چرخه ای لنگر- تغییر مکان نسبی طبقه

برای بررسی رفتار چشمه اتصال، منحنی‌های چرخه‌ای "لنگر-چرخش چشمه اتصال" هر سه مدل در شکل (۱۶) نمایش داده شده‌اند. چرخش چشمه اتصال (γ_{pz}) توسط رابطه (۱) محاسبه می‌شود [۱۴]:

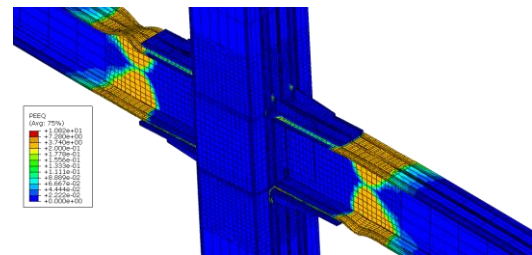
$$\gamma_{pz} = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{2ab} (\delta_1 - \delta_2) \quad (1)$$

که در آن a ، b ابعاد اولیه و δ_1 و δ_2 تغییر طول قطرهای چشمه اتصال (c و d) هستند که در شکل (۱۷) نمایش داده شده است. همانطور که در شکل (۱۶) دیده می‌شود، چشمه اتصال در هر سه طرح در طول بارگذاری چرخه‌ای در حالت الاستیک باقی مانده است و مقدار چرخش چشمه اتصال کم است. در اتصال به ستون‌های قوطی بعلت وجود دو جان در ستون که بطور معمول هم‌ضخامت با ورق‌های بال هستند، معمولاً تنش برشی در چشمه اتصال مقدار کمی دارد. از مقایسه سختی چشمه اتصال (شیب نمودار "لنگر-چرخش چشمه اتصال") هر سه طرح با یکدیگر، این نتیجه گرفته می‌شود که استفاده از لچکی بطور جزئی سختی چشمه اتصال را افزایش می‌دهد و استفاده از لچکی زوج یا تک اثری بر رفتار چشمه اتصال ندارد.

آیین‌نامه AISC [۸] بر اساس نمودار پوش منحنی "لنگر-



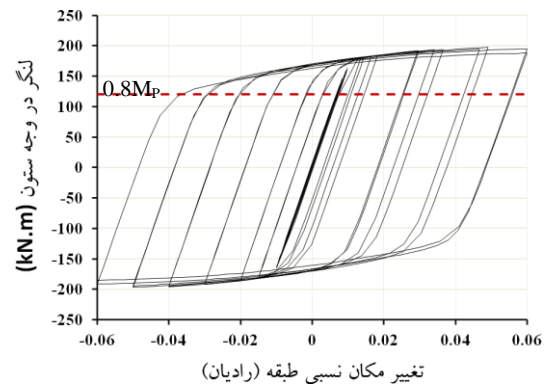
(الف)



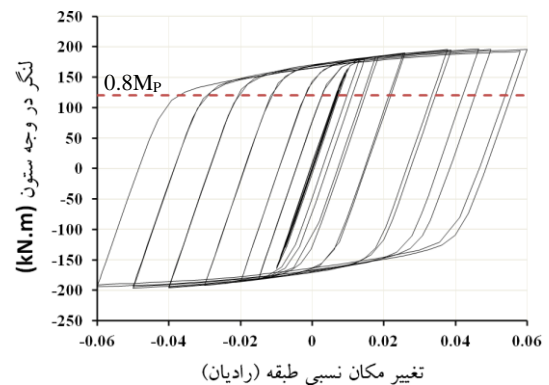
(ب)

اتصال تقویت شده با لچکی زوج

ادامه شکل (۱۳): (الف) توزیع تنش فون مایسز (ب) توزیع کرنش پلاستیک معادل در انتهای بارگذاری چرخه‌ای (تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۶ رادیان)

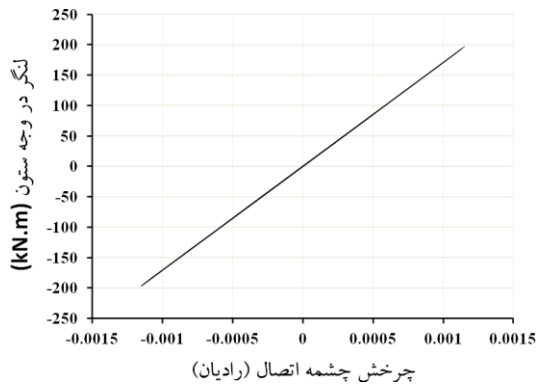


اتصال تقویت شده با لچکی تک

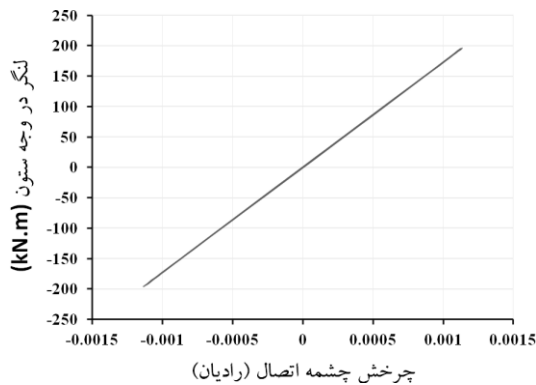


اتصال تقویت شده با لچکی زوج

شکل (۱۴): نمودار چرخه ای لنگر- تغییر مکان نسبی طبقه برای مقایسه رفتار کلی، پوش منحنی‌های چرخه‌ای "لنگر-تغییر



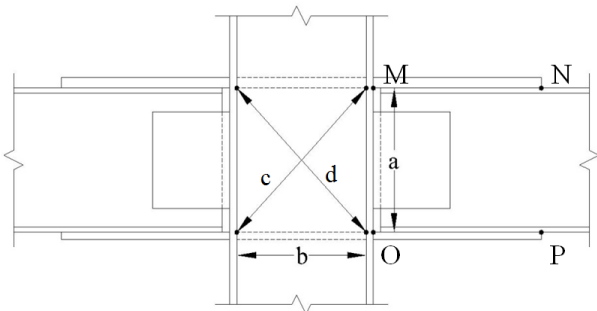
اتصال تقویت شده با لچکی تک



اتصال تقویت شده با لچکی زوج

شکل (۱۶): نمودار لنگر-چرخش چشمه اتصال

نمودار پوش منحنی چرخه‌ای "لنگر-چرخش اتصال" برای هر سه طرح در شکل (۱۸) نمایش داده شده است. خط چین در شکل متناظر با لنگر تحت اثر بارهای بهره‌برداری است. همانطور که در این شکل دیده می‌شود تقویت اتصال بوسیله لچکی موجب افزایش جزئی سختی اتصال شده است و همچنین تفاوت بسیار اندکی بین دو اتصال تقویت شده وجود دارد. مقادیر $K_s L / EI$ برای هر سه اتصال در جدول (۲) نمایش داده شده است.



شکل (۱۷): عوامل مورد نیاز برای محاسبه چرخش چشمه اتصال و نقاط مورد نیاز برای محاسبه چرخش انتهایی اتصال

چرخش اتصال"، اقدام به دسته‌بندی اتصالات نموده است. چرخش اتصال، مجموع چرخش در اجزای اتصال و چرخش چشمه اتصال است. چرخش اجزای اتصال ناشی از تغییر شکل-های قطعات اتصال شامل ورق‌ها و جوش است. چرخش اجزای اتصال ($\phi_{connection}$) از رابطه (۲) محاسبه می‌شود [۱۴]:

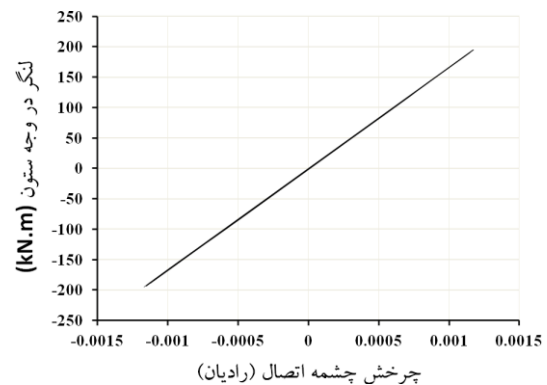
$$\phi_{connection} = \frac{((\delta_P - \delta_O) - (\delta_N - \delta_M))}{a} \quad (2)$$

که در این رابطه δ_P ، δ_O ، δ_N و δ_M تغییر مکان افقی نقاط نشان

داده شده در شکل (۱۷) است و a ارتفاع مقطع تیر است. سختی اتصال، برابر با سختی سکانت (K_s) با استفاده از نمودار پوش منحنی "لنگر-چرخش اتصال" طبق رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$K_s = \frac{M_s}{\theta_s} \quad (3)$$

که در این رابطه M_s لنگر تحت اثر بارهای بهره‌برداری است که مساوی حاصلضرب اساس مقطع الاستیک تیر در تنش حد تسلیم است و θ_s چرخش اتصال متناظر با لنگر M_s است که از نمودار پوش منحنی "لنگر-چرخش اتصال" بدست می‌آید. بر اساس ضوابط AISC [۸]، اگر مقدار عبارت $K_s L / EI$ (L و EI به ترتیب طول و سختی خمشی تیر)، در حدود ۲۰ و بزرگتر باشد، اتصال بطور کامل گیردار و اگر مقدار این عبارت بین ۲ تا ۲۰ باشد، اتصال نیمه گیردار خواهد بود [۸].

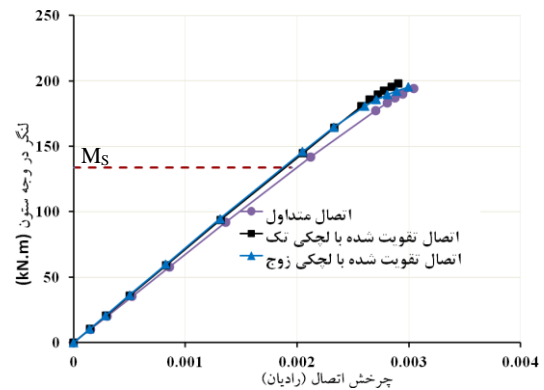


اتصال متداول

کمی بر رفتار کلی اتصال دارد.

- استفاده از لچکی تقویت‌کننده، موجب می‌شود تا سختی اتصال به میزان کمی افزایش یابد.

- بین رفتار کلی اتصال تقویت شده با لچکی تک و اتصال تقویت شده با لچکی زوج تفاوتی وجود ندارد و فقط تفاوت دو اتصال در نحوه توزیع تنش در جوش شیاری ورق روسری و زیرسری به بال ستون است.



شکل (۱۸): پوش منحنی لنگر-چرخش اتصال

۸- مراجع

[۱] Chen, C. C.; Lin, C. C.; Tsai, C. L.; "Evaluation of reinforced connections between steel beams and box columns", Engineering Structures, vol. 26, pp. 1889-1904, 2004.

[۲] Miller, D. K.; "Lessons learned from the Northridge earthquake", Engineering Structures, vol. 20, pp. 249-260, 1998.

[۳] Lee, C. H.; "Seismic design of rib-reinforced steel moment connections based on equivalent strut model", Structural Engineering, vol. 128, pp. 1121-1129, 2002.

[۴] Engelhardt, M. D.; Sabol, T. A.; "Reinforcing of steel moment connections with cover plates: benefits and limitations", Engineering Structures, vol. 20, pp. 510-520, 1998.

[۵] Federal Emergency Management Agency, FEMA-355D: State of the art report on connection performance, SAC Joint Venture, Sacramento, California, 2000.

[۶] Chen, C. C.; Chen, S. W.; Chung, M. D.; Lin, M. C.; "Cyclic behavior of unreinforced and rib-reinforced moment connections", Constructional Steel Research, vol. 61, pp. 1-21, 2005.

[۷] Federal Emergency Management Agency, FEMA-350: Recommended seismic design criteria for new steel moment-frame buildings, SAC Joint Venture, Sacramento, California, 2000.

[۸] AISC, American Institute of Steel Construction, Specification for structural steel buildings, Chicago, 2005.

[۹] Hibbit; Karlsson; Sorenson; ABAQUS Theory Manual, Pawtucket, RI, 2008.

[۱۰] AISC, American Institute of Steel Construction, Seismic provisions for structural steel buildings, Chicago, 2005.

[۱۱] Ghobadi, M. S.; Mazroi, A.; Ghassemieh, M.;

جدول (۲): سختی طرح‌های اتصال

طرح	$K_s L / EI$
اتصال متداول	۱۸/۹۹
اتصال تقویت شده با لچکی تک	۱۹/۸۴
اتصال تقویت شده با لچکی زوج	۲۰/۰۵

همانطور که در جدول (۲) دیده می‌شود مقدار $K_s L / EI$ برای اتصال متداول به میزان کمی با حد تعیین شده برای اتصالات بطور کامل گیردار اختلاف دارد و اتصال تقویت شده با لچکی تک و اتصال تقویت شده با لچکی زوج در حد اتصالات بطور کامل گیردار قرار گرفته‌اند. در نتیجه هر سه اتصال را می‌توان در ردیف اتصالات بطور کامل گیردار در نظر گرفت.

۷- نتیجه‌گیری

با توجه به تحلیل اجزای محدود انجام شده، نتایج زیر ارائه می‌شود:

- اتصال تیر به ستون قوطی با استفاده از ورق روسری و زیرسری به همراه صفحات پیوستگی داخل ستون قابل استفاده در قاب خمشی ویژه است.

- تقویت اتصال با استفاده از لچکی بصورت تک یا زوج موجب شد تا تنش در جوش شیاری متصل‌کننده ورق روسری و زیرسری به بال ستون کاهش پیدا نماید و بنابراین احتمال بروز ترک و شکست ترد در اتصال کمتر شود.

- بدلیل وجود ورق‌های روسری و زیرسری، استفاده از لچکی اثر

frames”, Fourteenth World Conference on Earthquake Engineering (14WCEE), China, October 2008.

Mazzolani, F. M.; Moment Resistant Design of Steel Frames in Seismic Areas, 1st Edition, E & SPON, 2000.

“Cyclic response characteristics of retrofitted moment resisting connections”, Constructional Steel Research, vol. 65, pp. 586–598, 2009.

[۱۴] Kim, Taejin; Experimental and analytical performance evaluation of welded steel moment connections to box or deep W-shape columns, PhD dissertation, Engineering-civil and environmental engineering, University of California, Berkeley, 2003.

[۱۳] Goswami, R.; Murty, C. V. R.; “Improved configuration of I-beam to box columnconnections in seismic steel moment

۹- زیرنویس ها

^۱ Northridge

^۲ High toughness

^۳ Welded flange plate connection

^۴ Model

^۵ Modeling

^۶ Incompatible mode

^۷ Von Mises

^۸ Drift

^۹ End effect