Archive of SID

ارزیابی اتصالات خمشی تقویت‌شده با ورق پشت‌بنددار

مهناز فرزانه[1]،مهدی قاسمیه[2]،محمدرضا بهاری[3]

(دریافت ۸۹/۷/۱۱، پذیرش ۹۱/۸/۱۲)

چکیده

گستردگی آسیب‌دیدگی‌های اتصالات ساختمان‌های فولادی پس از زلزله ۱۹۹۴ نورتریج به وضوح وجود نقایص اساسی را در طراحی و شیوه‌های ساخت قاب‌های خمشی فولادی ویژه به اثبات رسانید. وقوع شکست‌های ترد در اتصالات سازه‌های فولادی جوشی در این زلزله نشان داد که خسارت در قاب‌های خمشی با عملکرد اتصال رابطه مستقیم دارد و تمامی این گسیختگی‌های ترد در ناحیه اتصال تیر به ستون رخ داده است. تحقیق حاضر به بررسی تحلیلی اتصال گیردار پشت‌بنددار تیر به ستون جعبه‌ای می‌پردازد. در اتصال پشت‌بنددار از یک ورق سخت‌کننده برای تقویت اتصال استفاده می‌گردد، که این ورق با جوش نفوذ کامل به ستون متصل می‌گردد و هندسه معین دارد. در این اتصال ورق پشت‌بنددار به گونه‌ای طراحی می‌گردد که محل تشکیل مفصل پلاستیک را از ستون دور می‌کند. نتایج تحلیل‌ها بر روی این اتصال، نشان‌دهنده موثر بودن آنها در انتقال مفصل پلاستیک تیر به دور از ستون و شکل‌پذیری رضایت‌بخش آن می‌باشد.

کلمات کلیدی:

سخت‌کننده مثلثی، ظرفیت چرخش پلاستیک، منحنی هیسترزیس، اتصالات خمشی.

Rib Reinforcing of Flange Plate Moment Resisting Connection

Mehdi Ghassemieh, Mahnaz Farzaneh, Mohammad Reza Bahaari

ABSTRACT

Extensive damages in steel structures connections after 1994 Northridge earthquake, clearly showed main deficiencies of methods of designing and fabricating steel moment frames. Brittle fractures in steel structures welded connections revealed that damages in moment frames were associated with connection performance and that all these brittle fractures occurred in beam-column connection point. Present study analyzes rib restrained beam to box column connection. In this connection design, a strengthening plate is used to reinforce the connection, which connects to the column by full penetration weld and has a definite geometry. The rib plate is designed in such a way that induces the plastic hinge away from the column. Results show their effectiveness on transferring beam's plastic hinge away from column and improvement in ductility.

Key Words:

Rib, Moment Connections, Plastic Rotation, Hysteresis.

۱. **دانش آموخته کارشناس ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران mahnaz.farzaneh@yahoo.com**
(نویسنده مسئول)

۲. **دانشیار دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران mghassem@ut.ac.ir**

۳. **دانشیار دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران mbahaari@ut.ac.ir**

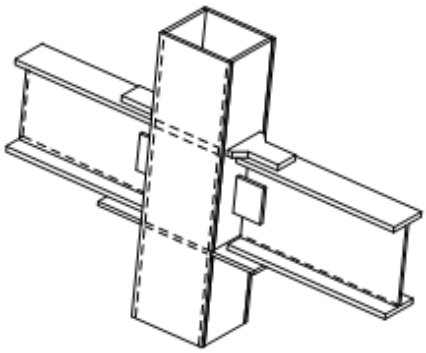
www.SID.ir

Archive of SID

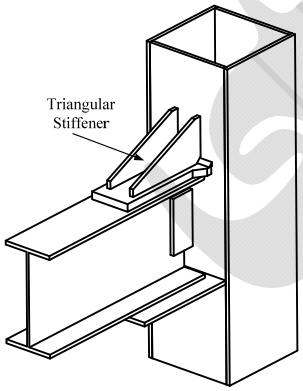
۱- مقدمه

قاب‌های خمشی فولادی به گونه‌ای طراحی می‌گردند که قابلیت اتلاف انرژی زیادی بر اثر جاری شدن و تغییر شکل‌های پلاستیک داشته باشند. برای جذب انرژی قابل توجه، وقوع تسلیم و تشکیل مفصل پلاستیک ضروری است و شکست ترد اتصال مانع از این می‌شود که اتصالات خمشی جوشی، رفتار غیرالاستیک مورد نظر را برای مقاومت در برابر بارهای زلزله از خود نشان بدهند. رفتار غیرالاستیک اتصال، عمدتاً به تشکیل مفصل پلاستیک در تیر نسبت داده می‌شود. در سازه‌های آسیب‌دیده نورتریج، تنها شواهد اندکی دال بر اینکه نواحی پلاستیک واقعاً تشکیل شده باشند وجود دارد که شاید یکی از دلایل مهم آن، نحوه در نظر گرفتن محل تشکیل مفصل پلاستیک در طراحی اتصالات بوده است. طراحی اتصالات قبل از زلزله نورتریج به نحوی انجام می‌گردید که مفصل پلاستیک در بر ستون، یعنی جایی که بالاترین قیود و تنش‌های سه محوره وجود دارد، به وقوع بپیوندد. تنش‌های سه محوره تأثیر شدیدی در کاهش شکل‌پذیری و بروز رفتار ترد دارند.

با توجه به اینکه ایران کشوری لرزه‌خیز است و اتصالات گیردار در کشورمان به صورت گسترده به کار می‌روند و در قاب‌های خمشی فولادی نقش اصلی باربری جانبی را دارند، تجربیات آسیب‌های ایجاد شده در سازه‌های فولادی در زلزله‌های به وقوع پیوسته در کشورهای مختلف ایجاب می‌کند که به طراحی و اجرای آنها توجه ویژه‌ای مبذول شود و ارائه روش‌های تقویت این اتصالات به گونه‌ای که توانایی تأمین شکل‌پذیری بالای فرض شده برای این قاب‌ها را داشته باشند، از اهمیت زیادی برخوردار است. در این اتصالات تیر توسط ورق تقویتی بالا و پایین به ستون متصل می‌گردد (شکل۱- الف). در تحقیق حاضر اتصال گیردار پشت‌بنددار مورد توجه قرار می‌گیرد (شکل۱- ب). در این اتصال ورق پشت‌بنددار به گونه‌ای طراحی می‌گردد که شرایط پذیرش اتصال گیردار را مطابق با آیین‌نامه‌های سازه‌های فولادی ارضاء کند و محل تشکیل مفصل پلاستیک را از ستون دور کند. به منظور مطالعه تحلیلی رفتار اتصال تیر به ستون، از نرم‌افزار اجزاء محدود جهت مدل‌سازی استفاده شده است. بر اساس نتایج این مدل‌سازی، عملکرد اتصال مذکور از لحاظ میزان گیرداری و شکل‌پذیری مورد بررسی قرار گرفته است و با نتایج حاصل از کارهای آزمایشگاهی مقایسه شده است. در ادامه اثر سخت‌کننده لچکی با استفاده از مدل‌های متعدد اجزاء محدود مورد مطالعه پارامتریک قرار گرفته است.



(الف)



(ب)

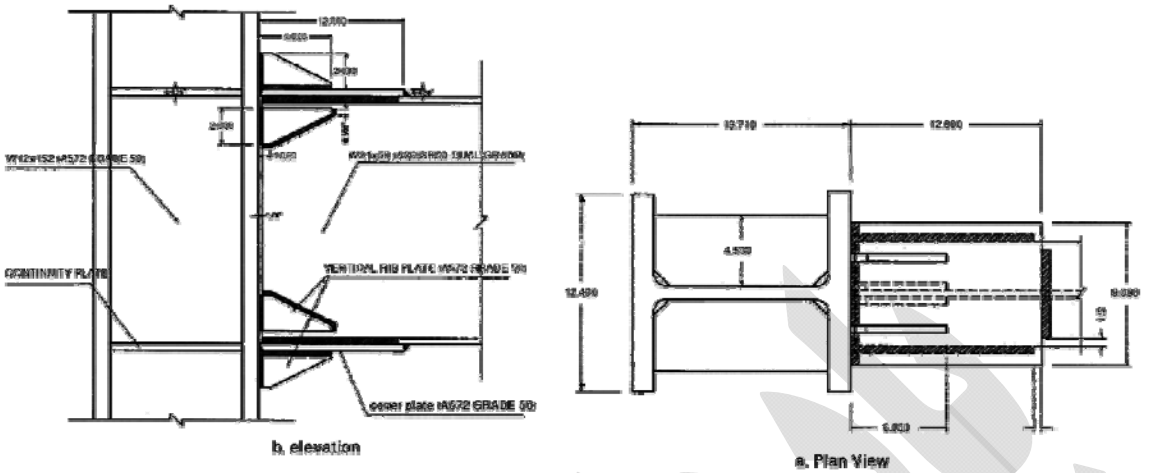
شکل (۱) : (الف) اتصال گیردار جوشی متداول (ب) اتصال تقویت‌شده با ورق پشت‌بنددار

در سال‌های اخیر در زمینه رفتار اتصالات خمشی فولادی در مقابل زلزله تحقیقات زیادی انجام شده است. Lee و همکاران [۱] یک آزمایش برای شکل خاصی از اتصال تقویت‌شده انجام داده‌اند. آنها پس از انجام مطالعات

www.SID.ir

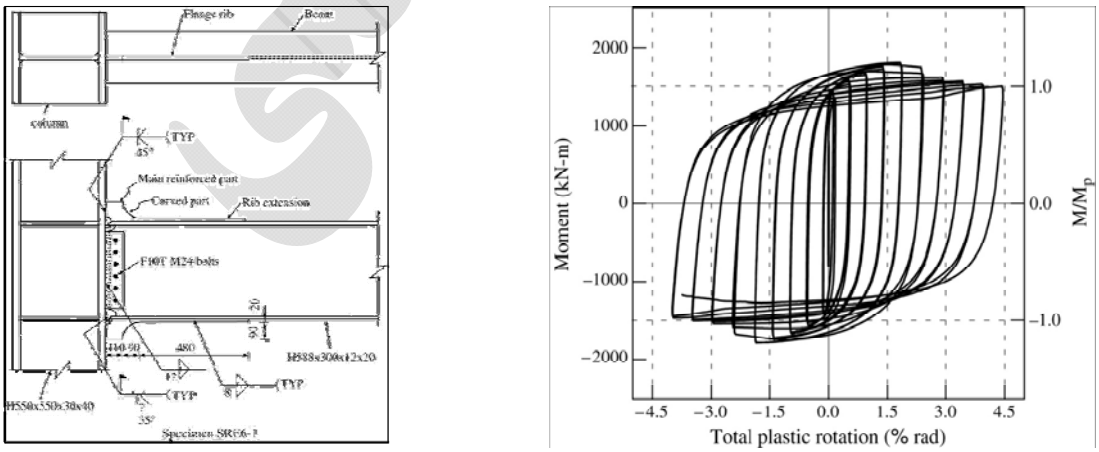
Archive of SID

عددی، ورق جان را حذف و به جای آن از هشت پشت‌بند استفاده نموده‌اند (شکل ۲). در مطالعات ایشان این پشت‌بندها در گیرداری اتصال نیز تأثیر داشتند.



شکل (۲) : اتصال تقویت‌شده با پشت‌بند [۱]

مزروعی و همکاران [۲] هفت آزمایش تمام مقیاس برای اتصالات گیردار با جزئیات اجرایی مرسوم انجام دادند. بارگذاری در این آزمایش‌ها به صورت یکنواخت بوده تا نمونه گسیخته شود. در یک نمونه از ورق لچکی در بال پایین استفاده شده است. نمونه دیگر دارای ورق لچکی بالا و پایین می‌باشد. در نمونه بعدی ورق لچکی حذف و ورق‌های پیوستگی در دو طرف ستون به کار برده شده است. آنها نتیجه‌گیری کردند که استفاده از ورق‌های لچکی گیرداری اتصال را تا ۱۰٪ افزایش می‌دهد. Chen و همکاران [۳ و ۴] دو آزمایش روی اتصال پشت‌بنددار با مقیاس واقعی انجام دادند. در این آزمایشات از پشت‌بند طویل استفاده گردید. بارگذاری چرخه‌ای براساس ATC-24 [۵] بوده است. اتصال شکل‌پذیری مناسبی دارد و چرخش‌های پلاستیک ۴/۵٪ رادیان را تحمل نموده است (شکل ۳). در این آزمایشات مدهای گسیختگی ترد مشاهده نشده است. در واقع استفاده از پشت‌بند از تمرکز تنش جلوگیری نمود.



شکل (۳) : منحنی هیسترزیس و جزئیات نمونه پشت‌بنددار [۳]

چرخش پلاستیک به دست آمده از آزمایش ۴/۵٪ می‌باشد.

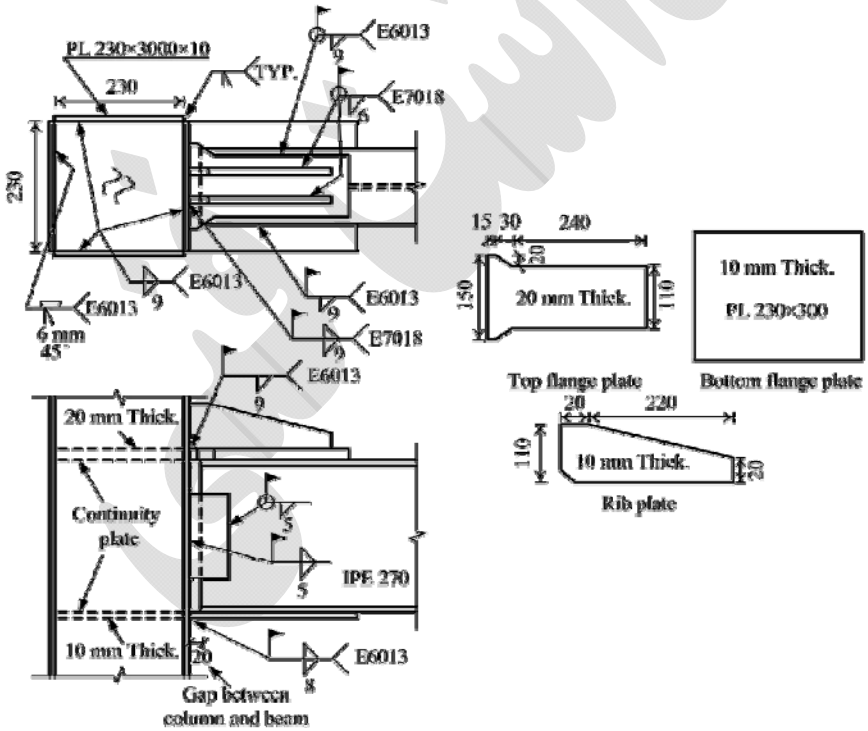
www.SID.ir

Archive of SID

در مطالعات دیگر Chen و همکاران [۶] نمونه دیگری از اتصالات پشت‌بنددار را معرفی نمودند که در این آزمایشات از پشت‌بند ذوزنقه‌ای استفاده گردید. آنها دو آزمایش بر روی اتصالات تقویت‌نشده انجام داده‌اند و مدهای گسیختگی در این اتصالات را شناسایی کرده‌اند. تمرکز تنش در جوش شیاری باعث گسیختگی ترد گشته بود. سپس دو نمونه پشت‌بنددار را آزمایش کردند. آنها نتیجه‌گیری کردند که وجود پشت‌بند باعث رفتار پایدارتر و شکل‌پذیرتر اتصال می‌گردد و از به وجود آمدن مدهای گسیختگی ترد جلوگیری می‌نماید

۲- مدل‌سازی جهت بررسی رفتار اتصال

در این تحقیق از روش اجزاء محدود به منظور مطالعه تحلیلی رفتار اتصال تیر به ستون استفاده شده، از این رو نرم‌افزار ANSYS جهت مدل‌سازی به کار گرفته شده است. رفتار غیرخطی هندسی و همچنین رفتار غیرخطی مصالح فولادی در این تحلیل‌ها لحاظ شده است. تحت بار جانبی در قاب‌های خمشی با توجه به تغییرشکل تیر و ستون، نقاط عطف در وسط دهانه تشکیل می‌شود. بنابراین به منظور مدل‌سازی نصف طول تیر و دو برابر نصف ارتفاع ستون در نظر گرفته می‌شود که در آن دو انتهای ستون و انتهای تیر مفصل می‌باشد. در مدل‌سازی برای نمونه مورد نظر ، اتصال با ستون ۳ متری و تیر۲/۵ متری در نظر گرفته شده است. مقطع IPE270 برای تیر و برای ستون از مقطع جعبه‌ای به ابعاد ۲۵×۲۵ سانتی‌متر با ضخامت یک سانتی‌متر به کار گرفته شده است. در قسمت‌هایی که قطعات به هم جوش شده‌اند، دو قطعه مذکور به صورت متصل به یکدیگر مدل‌سازی شده‌اند و فرض شده که جوش‌ها گیرداری کامل دارند. به منظور مشاهده اثر واقعی سخت‌کننده، جوش گوشه ورق روسری به ستون مدل‌سازی گشته است. جزئیات مدل مورد نظر(SP-1) در شکل (۴) نشان داده شده است.

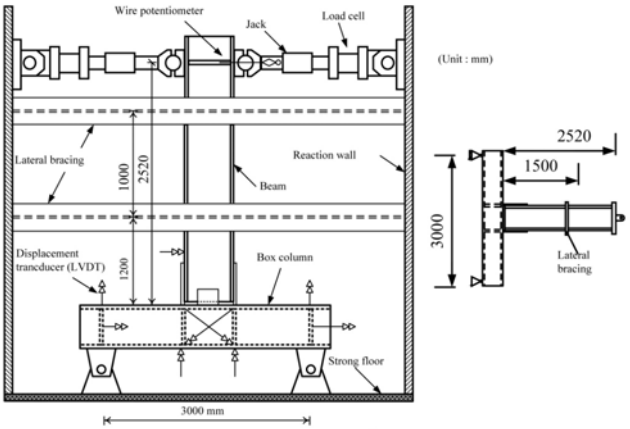


شکل (۴) : جزئیات اتصال نمونه SP-1 [۷]

www.SID.ir

Archive of SID

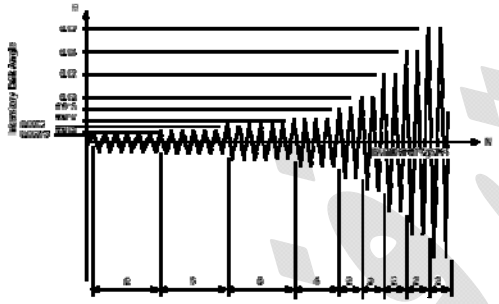
جزئیات هندسی مدل و ابعاد با توجه بـه نتـایج مطالعـات آزمایشـگاهی قبـادی [۷] انتخـاب شـده اسـت. در ایـن مطالعات اتصال تقویت‌شده تحت آزمایش شبه اسـتاتیکی چرخه‌ای قرار می‌گیرد. نمونه آزمـایش بـا بارگـذاری در شکل(۵) ارائه گردیده است. در محل بارگذاری تیـر نیـز یک سخت‌کننده در نظر گرفته شده است تـا در آن محـل گسیختگی موضعی به‌وجود نیاید [۷].



شکل (۵) : جزئیات برپایی نمونه آزمایشگاهی و ابزاربندی نمونه مورد مطالعه [۷]

در آزمایش، از نوع فولاد ST-37 استفاده گردید. رفتار الاستوپلاستیک همراه با سخت‌شوندگی کرنشی به همراه معیار تسلیم فون میسز در مدل‌سازی برای فولاد در نظر گرفته شده است. مدول الاستیسیته فولاد برابر $E=2\times10^5$ MPa و نسبت پواسون $\nu= 0.3$ فرض گردیده است. از آنجاییکه تکیه‌گاه‌های ستون رفتار مفصلی دارند، به منظور انعکاس این رفتار در تکیه‌گاهها یک ورق ضخیم در بالا و پایین ستون نصب گردیده است و تمام درجات آزادی در سه جهت در محور مرکزی این ورق مقید شده است و به این ترتیب چرخش ستون حول محور مرکزی آن ممکن می‌باشد. در انتهای تیر یک ورق ضخیم برای انتقال بار به تیر در نظر گرفته شده است. به عنوان تکیه‌گاه جانبی تیر، در فاصله ۱/۵ متری از مرکز ستون درجه آزادی تیر در محل بال‌های بالا و پایین تیر مقید شده است. از المان SOLID185 در نرم‌افزار ANSYS برای مدل‌سازی استفاده شده است و نمونه ها دارای تقارن می‌باشند.

تاریخچهٔ بارگذاری پیشنهادی، یک بارگذاری شبه استاتیکی و چرخه‌ای چند مرحله‌ای افزایشی است که مطابق استاندارد لرزه‌ای AISC [۸] می‌باشد و اعمال بار به صورت اعمال جابجایی به انتهای تیر صورت گرفته است. پارامتر اصلی بارگذاری، زاویه چرخش اتصال (θ) می‌باشد که لازم است بر حسب تغییرمکان انتهای تیر بیان گردد. منحنی و پروتکل بارگذاری چرخه‌ای مطابق شکل(۶) بر سازه وارد می‌گردد.



شکل (۶): بارگذاری چرخه‌ای اعمال شده [۹]

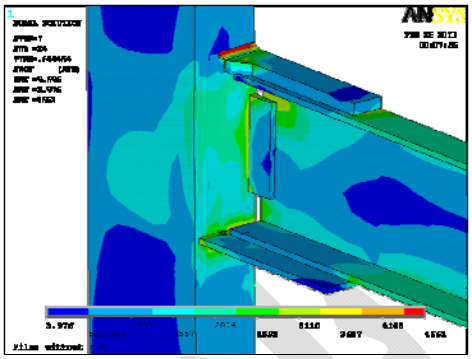
۳- بررسی نتایج

نمونـه SP-0 بـه عنـوان اتصـال شـرایط موجـود در ساختمان‌های رایج و جهت مقایسه با نمونه تقویـت شـده در نظر گرفته شده است. ابعـاد ایـن نمونـه مشـابه نمونـه SP-1 است و جوشکاری ورق بالاسـری و زیرسـری بـه صورت ناقص و جوش گوشه می‌باشد. همانگونـه کـه در شکل (۷) نشـان داده شـده اسـت، نمونـه مـذکور بـدون سخت‌کننده لچکی مدل‌سازی شده است. با توجه به نتایج

www.SID.ir

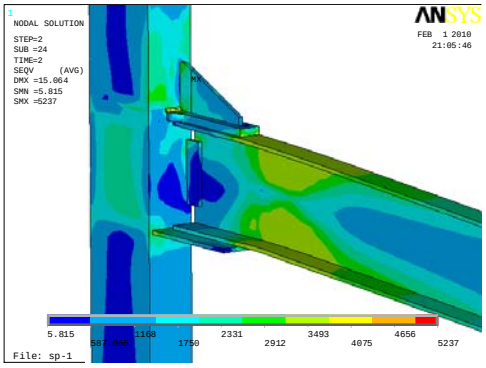
Archive of SID

حاصل از تحلیل، مشاهده می‌شود که مفصل پلاستیک در محل اتصال تیر به ستون تشکیل شده است و همچنین جوش گوشه در بال بالا، جوابگوی بارهای وارده نیست و انتظار گسیختگی زود هنگام از این نمونه می‌رود (شکل۷). بنابراین نمونه به عنوان اتصال گیردار تلقی نمی‌گردد و طرح تقویت برای آن الزامی است.

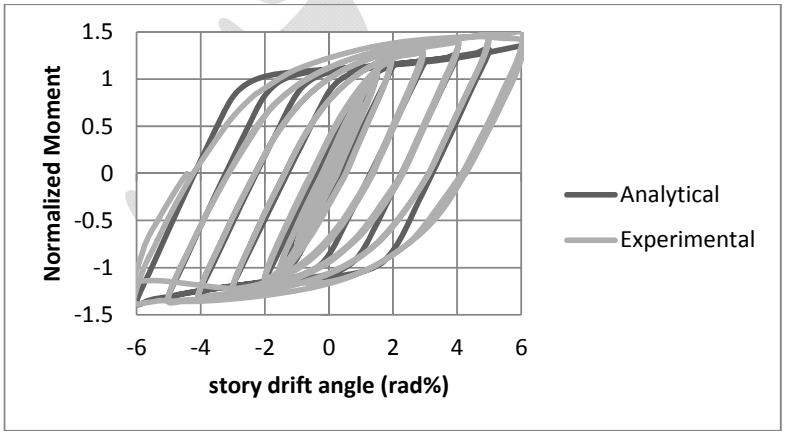


شکل (۷) : نتایج تحلیل نمونه SP-0

توزیع تنش فون میسز به‌دست آمده از نتایج تحلیل، تحت اثر بارگذاری متناوب برای نمونه SP-1 که توسط سخت‌کننده مثلثی شکل تقویت شده است، در شکل(۸) شان داده شده است. با توجه به توزیع تنش، مشاهده می‌شود که محل تشکیل مفصل پلاستیک از ستون دور شده است و این بدان معناست که در این نوع اتصال از بابت شکست ترد ناگهانی، نگرانی وجود ندارد. همانگونه که در شکل(۸) نشان داده شده، مفصل پلاستیک حجم زیادی از نقاط تسلیم‌شده را نشان می‌دهد که بیانگر رفتار مناسب اتصال می‌باشد. منحنی هیسترزیس بدست آمده از نتایج تحلیل برای مدل مورد بررسی، در مقایسه با نمونه آزمایشگاهی نشان می‌دهد که نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی [۷] دارای انطباق قابل قبول می‌باشد (شکل۹). همچنین با توجه به رفتار چرخه‌ای تحلیلی می‌توان به مناسب بودن میزان گیرداری اتصال پی برد. زیرا مطابق با آیین‌نامه لرزه‌ای آمریکا (AISC) [۸]، برای پذیرش یک اتصال گیردار باید مقاومت غیرخطی اتصال بیشتر از مقاومت غیرخطی تیر باشد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که این اتصال دارای مقاومت و شکل‌پذیری مناسبی است و همچنین ظرفیت چرخشی مناسبی را تا زاویه چرخش ۶٪ رادیان از خود نشان می‌دهد، بنابراین قابلیت استفاده در قاب‌های مقاوم خمشی ویژه (SMF) را دارا می‌باشد. همچنین در سخت‌کننده لچکی تنش‌های غیرخطی مشاهده نشده است.



شکل (۸) : نتایج تحلیل نمونه SP-1



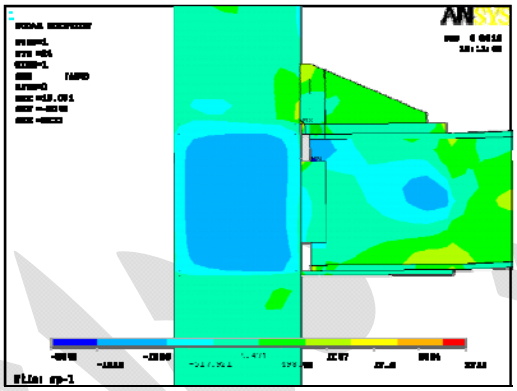
شکل (۹) : مقایسه منحنی هیسترزیس حاصل از نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی [۷]

www.SID.ir

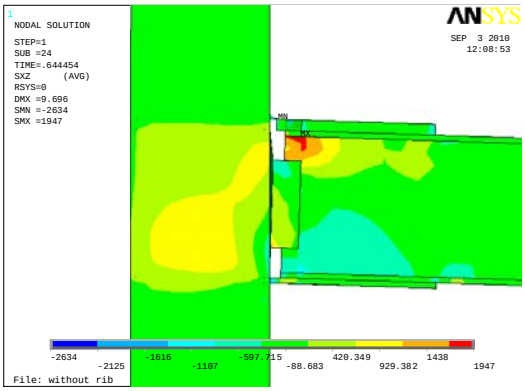
Archive of SID

۴- ناحیه پانلی

ناحیه پانلی در حقیقت اصلی‌ترین جزء اتصال مقاوم خمشی ویژه با عملکرد لرزه‌ای می‌باشد که وظیفه انتقال و تبدیل نیروها و تنش‌ها را در اتصال بر عهده دارد. ناحیه پانلی نیز همانند سایر اجزاء سازه‌ای تحت تنش‌های محوری، خمشی، برشی و ... می‌باشد. لیکن مهم‌ترین و عمده‌ترین عملکرد این ناحیه رفتار برشی آن می‌باشد. در نتیجه در اینجا همانند ضوابط لرزه‌ای طراحی ناحیه برشی، برش در ناحیه پانلی به عنوان معیار بررسی در نظر گرفته شده است. کانتور تنش برشی مربوط به ناحیه پانلی نمونه SP-1 در شکل (۱۰- الف) نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از کانتورهای تنش، مشاهده می‌شود که مقادیر تنش برشی درون ناحیه پانلی مربوط به نمونه تقویت‌شده با سخت‌کننده مثلثی شکل در مقایسه با نمونه SP-0 که نمونه تقویت‌نشده می‌باشد شکل(۱۰-ب)، تحت اثر بارگذاری همواره در حدود پایین الاستیک باقی مانده‌اند، لذا تغییرشکل‌ها و کرنش‌های پلاستیک در این محدوده به چشم نمی‌خورد.



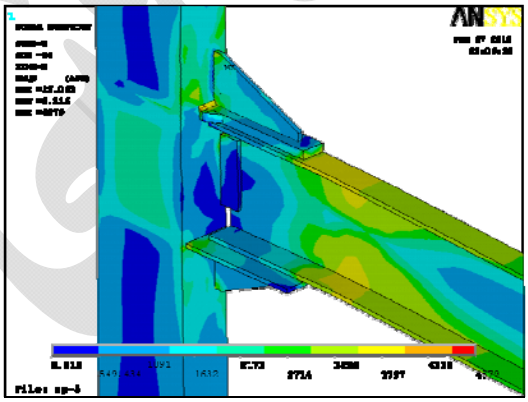
(الف)



(ب)

شکل (۱۰) : (الف) کانتور تنش برشی نمونه SP-1 (تقویت‌شده با لچکی) (ب) کانتور تنش برشی نمونه SP-0 (تقویت‌نشده)

همچنین به منظور بررسی تاثیر قرارگیری لچکی در بال پایین، نمونه SP-1-Duble که در آن سخت‌کننده مثلثی شکل در بالا و پایین تیر قرار دارد، مدل‌سازی شده است. همانگونه که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود، قرارگیری لچکی در پایین تیر تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر رفتار کلی اتصال ندارد و قرار دادن لچکی در بالای تیر که بحرانی‌تر است، مفصل پلاستیک را از ستون دور می‌کند.



شکل (۱۱) : نتایج تحلیل نمونه SP-1-Duble با دو لچکی مثلثی در بالا و پایین

www.SID.ir

Archive of SID

۵- مطالعات پارامتریک

در این قسمت از مطالعات در ابتدا شاخص‌های تنش و کرنش معرفی می‌شود، سپس به مطالعه پارامتریک بر روی اتصال مورد مطالعه پرداخته می‌شود. این مطالعه پارامتریک شامل بررسی اثر تغییر در ابعاد سخت‌کننده لچکی می‌باشد. برای مقایسه پتانسیل شکست در جزئیات مختلف و بیان اثر پارامترهای مورد توجه، شاخص‌های مختلف تنش، کرنش و ترکیبی از این شاخص‌ها به کار گرفته شده‌اند. جهت تسهیل مقایسه بین مقدارهای تنش و کرنش محاسبه شده به مقدار تنش و کرنش تسلیم نرمال‌سازی شده‌اند. یکی از پارامتر های موثر که نشان دهنده رفتار ترد یا شکل پذیر اتصال خواهد بود، پارامتر کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) می‌باشد. کرنش پلاستیک معادل مطابق با رابطه (۱) به شرح ذیل تعریف می‌شود.

$$PEEQ = \sqrt{\frac{2}{3}\varepsilon_{ij}\varepsilon_{ij}} \qquad (۱)$$

که در رابطه فوق ε_{ij} مولفه کرنش پلاستیک در راستای i و j می‌باشد [۹]. این شاخص مقیاسی برای اندازه‌گیری تقاضای کرنش غیرالاستیک موضعی است همچنین برای ارزیابی و مقایسه وضعیت‌های مختلف مناسب می‌باشد. جهت مقایسه، یکی از شاخص‌های به کار رفته شاخص گسیختگی (RI) می‌باشد که مطابق با رابطه (۲) تعریف می‌شود [۹].

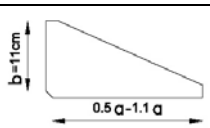
$$RI = \frac{PEEQ}{\exp\left(-1.5\frac{\sigma_m}{\bar{\sigma}}\right)} \qquad (۲)$$

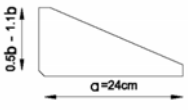
در رابطه (۲) σ_m و $\bar{\sigma}$ معرف تنش هیدرواستاتیک و تنش فون میسز می‌باشند. نسبت تنش هیدرواستاتیک به تنش فون میسز نسبت تنش سه محوری نامیده می‌شود (TR). این نسبت کمیت مهمی برای گسیختگی شکل‌پذیر فلز است. معمولا تنش کششی (منفی) هیدرواستاتیک بزرگ با تنش‌های اصلی بزرگ همراه است و این امر بر پتانسیل بیشتر برای شکست‌های ترد و شکل‌پذیر دلالت دارد. اگر در ماده ترک و یا عیب دیگری وجود داشته باشد، تنش کششی هیدرواستاتیک منجر به افزایش فاکتور تشدید تنش در نوک ترک می‌شود و احتمال وقوع شکست‌های ترد را افزایش می‌دهد. شکست ترد به صورت ناگهانی رخ می‌دهد و تغییرشکل پلاستیک قابل توجهی را در بر ندارد. همچنین تنش کششی هیدرواستاتیک بزرگ منجر به کاهش شکل‌پذیری می‌شود. در چنین شرایطی، تنش بزرگ سه محوری موجب تجمع آسیب‌ها در فلز و در نتیجه به هم پیوستن ترک‌ها و سوراخ‌های بسیار ریز می‌شود. این فرایند گسیختگی شکل‌پذیر نامیده می‌شود و اغلب با تغییرشکل‌های پلاستیک پیش از گسیختگی همراه است [۹]. مقادیر TR بین 0.75- و 1.5- می‌تواند کاهش شدید در کرنش گسیختگی فلزات ایجاد کنند و مقادیر کمتر از 1.5- باعث ایجاد گسیختگی ترد می‌شود. بنابراین مکان‌هایی که در یک اتصال دارای شاخص گسیختگی (RI) بزرگتری هستند پتانسیل بیشتری برای شکست دارند. با استفاده از رابطه (۲) می‌توان پتانسیل شکست شکل‌پذیر را بین دو جزئیات متفاوت مقایسه کرد. البته این روش محدودیت‌هایی دارد که باید در نظر گرفته شود. یک معیار شکست شکل‌پذیر باید شامل یک طول مشخصه حداقل باشد که در این روش در نظر گرفته نشده است. علاوه بر این، گسیختگی وابسته به جهت نورد، نقوص اولیه فولاد و کرنشی است که تجمع آسیب‌ها در آن آغاز می‌شود. اما با در نظر داشتن محدودیت‌های ذکر شده روش فوق ، معمولا برای مقایسه نتایج تحلیل انجام شده بر روی جزئیات مختلف به کار می‌رود. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که این معیار برای مقایسه انواع مختلف فولاد که آنها مورد آزمایش قرار دارند کافی بوده اند [۹]. به منظور مطالعه پارامتریک روی ابعاد سخت‌کننده لچکی در نمونه SP-1، نمونه‌های SP-A-1 تا SP-A-6 با مقادیر مختلف ضلع افقی سخت‌کننده (a) و نمونه‌های SP-A-7 تا SP-A-12 با مقادیر مختلف ضلع عمودی سخت‌کننده (b) مدل‌سازی شده‌اند که مشخصات آنها در جدول(۱) نشان داده شده است.

www.SID.ir

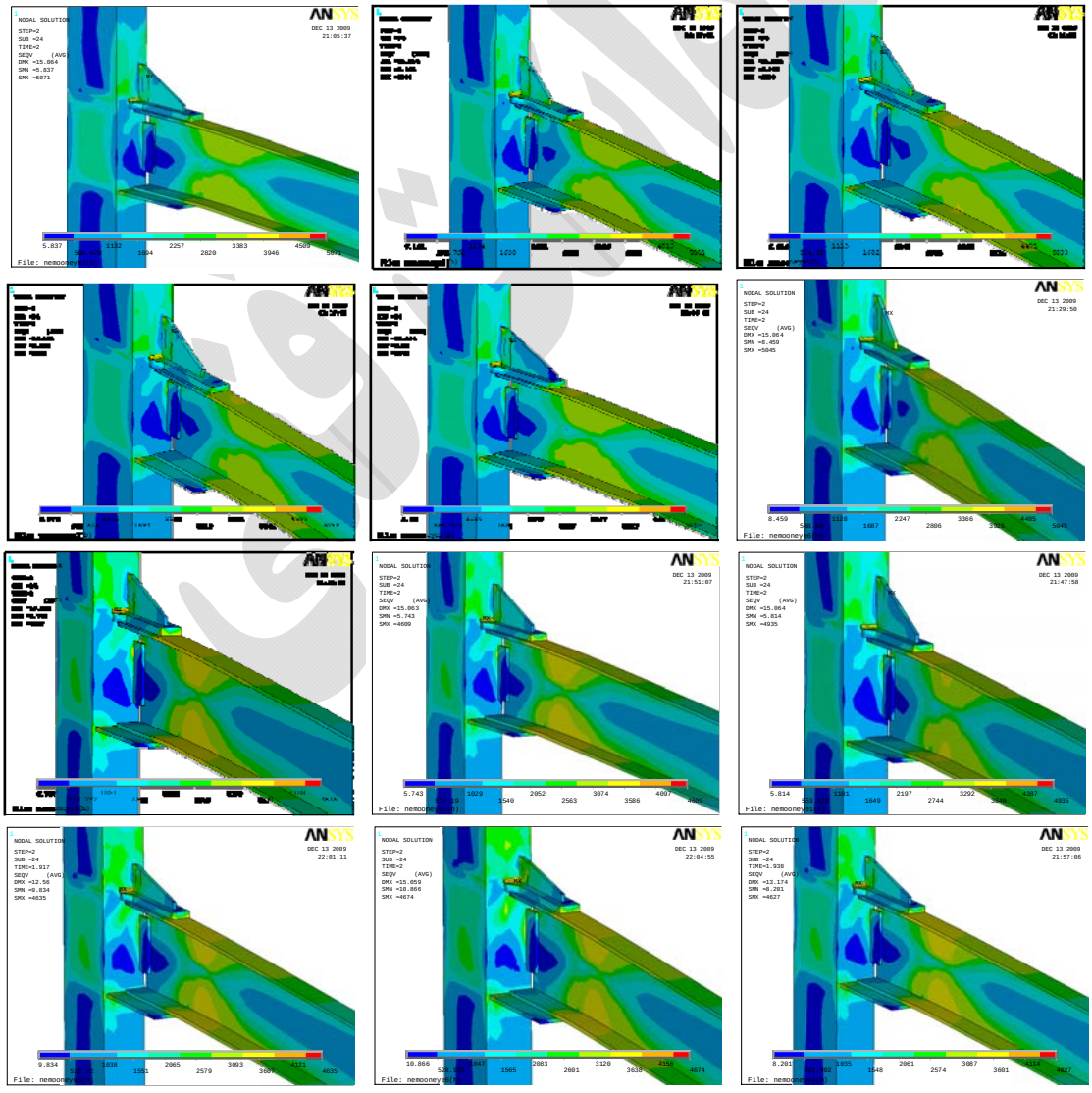
Archive of SID

جدول (۱) : مشخصات هندسی سخت‌کننده‌ها جهت مطالعات پارامتریک





نام نمونه	مشخصات نمونه		نام نمونه	مشخصات نمونه	
	ضلع افقی	ضلع عمودی		ضلع افقی	ضلع عمودی
SP-A-1	1.1a	b	SP-A-7	1.1b	a
SP-A-2	0.9a	b	SP-A-8	0.9b	a
SP-A-3	0.8a	b	SP-A-9	0.8b	a
SP-A-4	0.7a	b	SP-A-10	0.7b	a
SP-A-5	0.6a	b	SP-A-11	0.6b	a
SP-A-6	0.5a	b	SP-A-12	0.5b	a

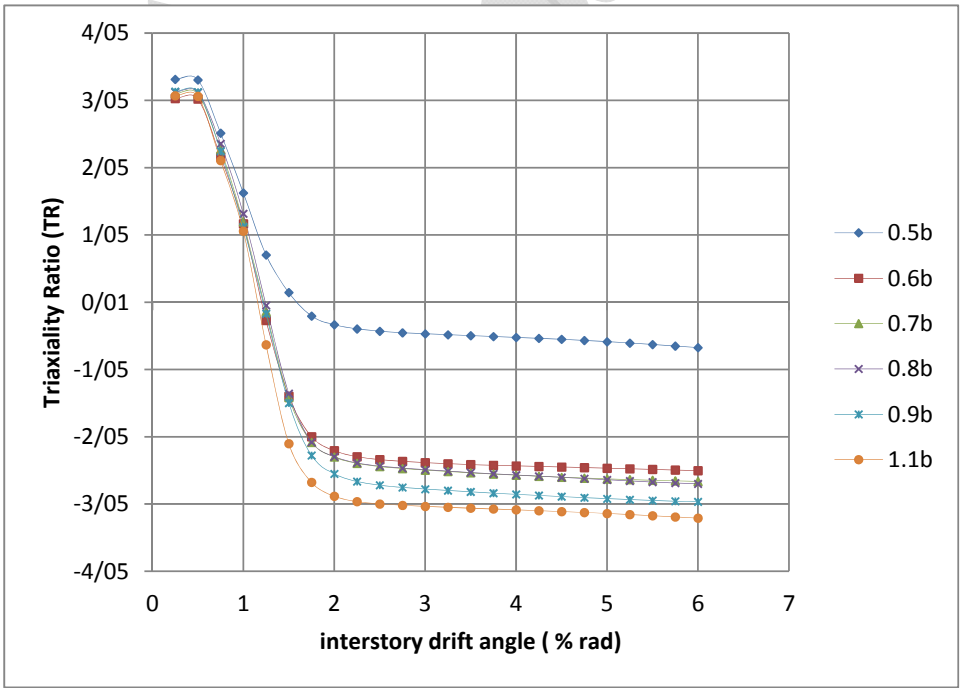


www.SID.ir

Archive of SID

در نمونه‌های SP-A-1 تا SP-A-6 با افزایش ضلع افقی سخت‌کننده محل قرارگیری مفصل پلاستیک از ستون دور می‌شود. همچنین در مورد نمونه‌های SP-A-7 تا SP-A-12 دورتر شدن مفصل پلاستیک از بر ستون با افزایش ضلع عمودی مشاهده می‌شود. همچنین در تمامی مدل‌ها اتصال مورد مطالعه به ظرفیت چرخشی بیشتر از ۴٪ رادیان می‌رسد. این زاویه چرخش بر اساس FEMA350 [۱۰] و AISC به عنوان حداقل زاویه چرخش برای یک قاب مقاوم خمشی ویژه (SMF) شناخته می‌شود که نشان‌دهنده شکل‌پذیری مناسب این اتصال می‌باشد.

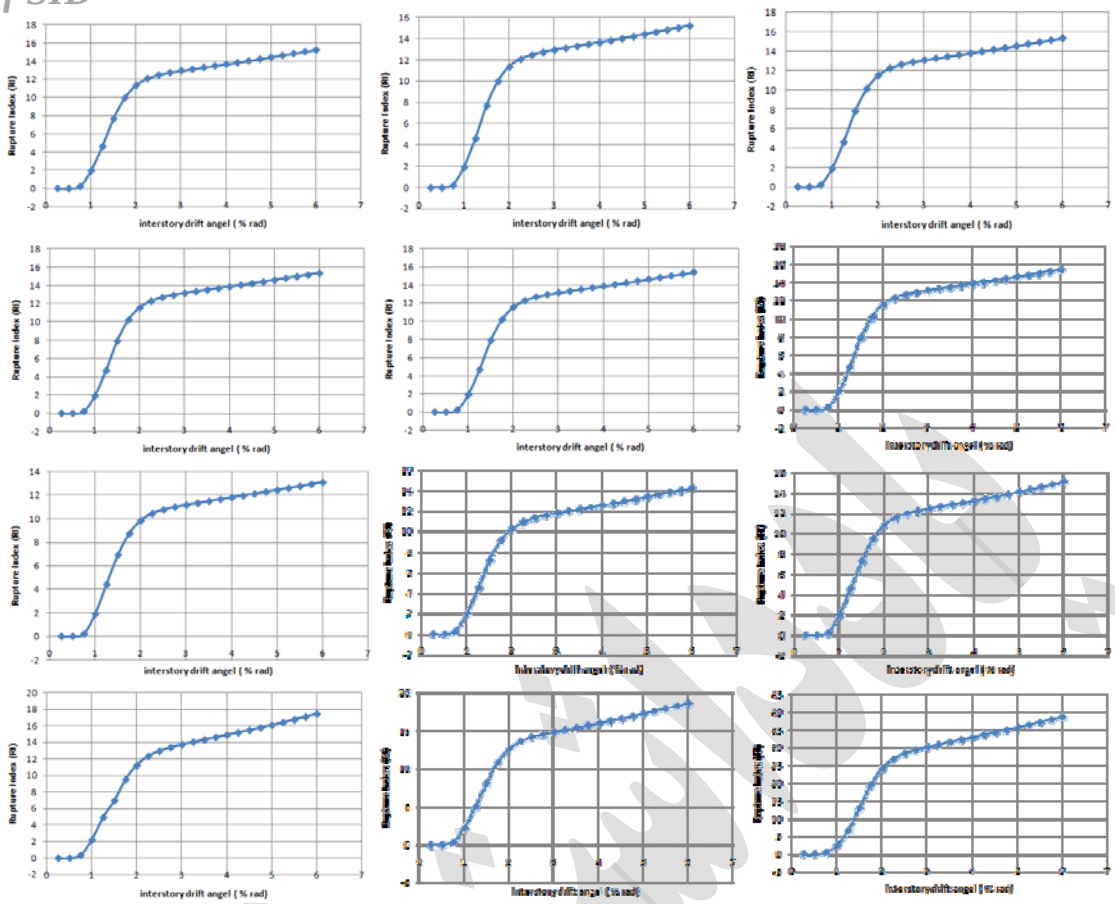
در شکل (۱۲) نسبت سه محوری برای مقادیر مختلف ضلع عمودی سخت‌کننده نشان داده شده است. این منحنی نسبت سه محوری را بر حسب زاویه چرخش اتصال نشان می‌دهد. در این منحنی مشاهده می‌شود که افزایش مقادیر ضلع عمودی سخت‌کننده لچکی منجر به کاهش نسبت سه محوری می‌شود؛ به این ترتیب احتمال وقوع گسیختگی کمتر می‌شود. روند این کاهش در شکل نشان داده شده است. همچنین شاخص گسیختگی به منظور بررسی احتمال وقوع شکست ترد در نمونه‌های مختلف مورد مطالعه قرارگرفته است. همانگونه که مشاهده می‌شود، با افزایش مقادیر ضلع افقی سخت‌کننده میزان شاخص گسیختگی کاهش می‌یابد (شکل ۱۳). همچنین در مورد ضلع عمودی، کاهش میزان شاخص گسیختگی با افزایش مقادیر مربوط به این ضلع همراه می‌باشد (شکل ۱۴). بنابراین هر چه مقادیر اضلاع افقی و عمودی کمتر باشد، میزان شاخص گسیختگی افزایش می‌یابد و همانگونه که مشاهده می‌شود با ۵۰٪ کاهش این اضلاع، احتمال وقوع شکست ترد بیشتر می‌شود. همچنین مقادیر تنش برشی درون ناحیه پانلی مربوط به مدل‌های مختلف تحت بارگذاری، همواره در محدوده خطی می‌باشد

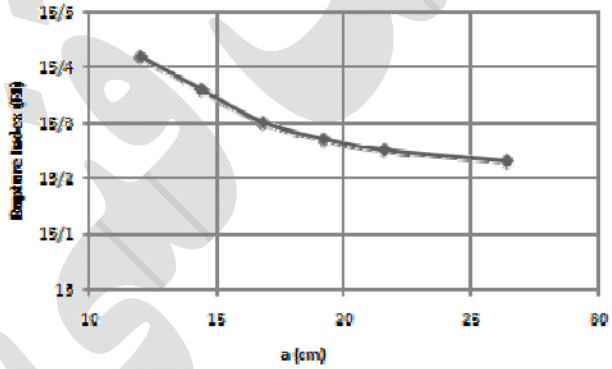


شکل (۱۲) : نسبت سه محوری برای مقادیر مختلف ضلع عمودی سخت‌کننده لچکی (b)

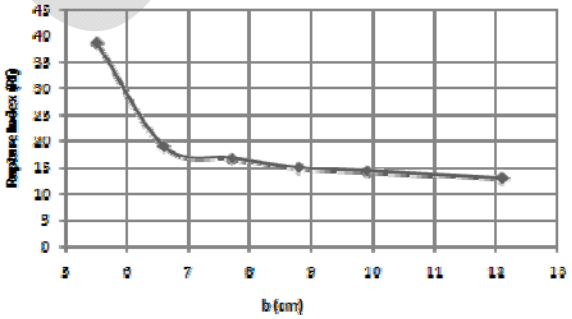
www.SID.ir

Archive of SID





شکل (۱۳) : بررسی تاثیر افزایش ضلع افقی سخت‌کنندی لچکی در شاخص گسیختگی



شکل (۱۴) : بررسی تاثیر افزایش ضلع عمودی سخت‌کننده لچکی در شاخص گسیختگی

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

نتایجی که از این تحقیق به‌دست آمده، عبارت است از:

مقاومت خمشی بدست آمده تا مراحل آخر بارگذاری از میزان ظرفیت **خمشی** پلاستیک تیر (M_P) بالاتر بوده و مقاومت غیرخطی اتصال به صورت صعودی افزایش یافته و بیشتر از مقاومت غیرخطی تیر می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که اتصال مورد مطالعه از ظرفیت مقاومت خمشی مناسبی برخوردار می‌باشد.

همچنین نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که این اتصال دارای مقاومت و شکل‌پذیری مناسبی است و ظرفیت چرخشی مناسبی را تا زاویه چرخش ۶٪ رادیان از خود نشان می‌دهد، بنابراین این اتصال قابلیت استفاده در قاب‌های مقاوم خمشی ویژه (SMF) را دارا می‌باشد.

با توجه به نتایج بدست آمده از کانتورهای تنش، مشاهده گردید که محل تشکیل مفصل پلاستیک از ستون دور شده است و این بدان معناست که در این نوع اتصال از بابت شکست ترد ناگهانی، نگرانی وجود نخواهد داشت و در این سیستم شکل‌پذیری سازه در خارج از ناحیه اتصال و در مفصل پلاستیک تامین می‌شود. همچنین مفصل پلاستیک حجم زیادی از نقاط تسلیم‌شده را تشکیل می‌دهد که بیانگر رفتار مناسب اتصال می‌باشد.

با توجه به رفتار مشاهده شده در منحنی هیسترزیس بدست آمده از نتایج تحلیل برای مدل مورد بررسی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نتایج عددی در مقایسه با نمونه آزمایشگاهی دارای انطباق قابل قبول می‌باشد. همچنین با توجه به رفتار چرخه‌ای تحلیلی، مناسب بودن میزان گیرداری اتصال با توجه به ضوابط آیین‌نامه لرزه‌ای AISC مشاهده شده است و میزان نسبت گیرداری اتصال به تیر بزرگتر از یک می‌باشد.

مطالعات پارامتریک نشان داد که افزایش مقادیر ضلع افقی سخت‌کننده باعث کاهش میزان شاخص گسیختگی می‌شود. همچنین در مورد ضلع عمودی، کاهش میزان شاخص گسیختگی با افزایش مقادیر مربوط به این ضلع همراه می‌باشد. بنابراین هر چه مقادیر اضلاع افقی و عمودی کمتر باشد، احتمال وقوع شکست ترد افزایش می‌یابد. و به عبارت دیگر هر چه مقادیر اضلاع افقی و عمودی بیشتر گردد شکل پذیری اتصال افزایش خواهد یافت.

همچنین اتصال مورد مطالعه در تمامی مدل‌ها به ظرفیت چرخشی بیشتر از ۴٪ رادیان می‌رسد که نشان‌دهنده شکل‌پذیری مناسب این اتصال خواهد بود.

مراجع

1. Lee, K-H., Goel, S. C., and Stojadinovic, B. (1997). "Boundary effects in welded steel moment connections". UMCEE 97-20. Ann Arbor, Mich.: Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan at Ann Arbor.

۲. مزروعی،علی ؛ سیمونیان،واهاک ؛ نیکخواه عشقی ، مجید. ۱۳۷۸، "بررسی تجربی درصد گیرداری اتصالات صلب جوشی متداول در ایران" گزارش تحقیقاتی شماره گ-۳۰۵ ، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

3. Chen CC, Lee JM, Lin MC. (2003). "Behaviour of steel moment connections with a single flange rib". Engineering Structures ,25:1419–28.

4. Chen CC, Lee JM, Lin MC. (2005). "Parametric study and design of rib-reinforced steel moment connections". Engineering Structures ,27:699–708.

5. ATC-24. (1992). "Guidelines of Cyclic Seismic Testing on Components for Steel structures". Redwood City, California: Applied Technology Council.

6. Chen CC, Chen SW, Chung MD, Lin MC. (2005). "Cyclic behavior of unreinforced and rib-reinforced moment connections". Journal of Constructional Steel Research 61(1):1–21.

۷. قبادی، محمد سهیل، ۱۳۸۷ ،" بررسی رفتار چرخه‌ای اتصالات خمشی تقویت‌شده با ورق" ، رساله دکتری دانشکده مهندسی عمران ، دانشگاه تهران.

8. AISC, AISC/ANSI 341-05. (2005). Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Construction, Inc., Chicago, IL.

9. SAC /BD 98-01. (1995). "Strenth and Ductility of Welded-Bolted Connection", prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Report No. FEMA-288, Washington, DC.

10. FEMA 2000, Recommended seismic design criteria for new steel moment-frame buildings. Report No. FEMA-350, Federal Emergency Management Agency.

www.SID.ir