

مطالعه رفتار ورق‌های اتصال میانی در مهاربندهای ۸ هم محور

موسی مظلوم^{۱*} و وحید صالحی^۲^۱ دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد زلزله، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

* نویسنده مسئول

دریافت ۹۴/۸/۱ پذیرش ۹۵/۲/۱۲

چکیده

در این تحقیق رفتار هیستریزیس ورق‌های اتصال میانی ۱۴ نمونه مهاربند ۸ هم‌محور مدل‌سازی شدند. این مدل‌ها در نرم‌افزار ABAQUS ساخته شدند و تحلیل استفاده شده، از نوع استاتیکی غیر خطی بود. نحوه بارگذاری به صورت چرخه‌ای انجام گرفت که در ابتدا به صورت اعمال بار و سپس شامل اعمال تغییر مکان به سازه شد. ورق‌های اتصال با ضخامت مشخص ولی با ابعاد و شکل‌های متفاوت به کار رفت. با استفاده از نتایج تحلیل‌های انجام شده، رفتار هیستریزیس ورق‌های اتصال به دست آمد و این رفتار با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید و صحت انجام تحقیق توسط نرم‌افزار آباکوس اثبات شد. سپس تعداد ۱۴ نمونه ورق اتصال که از نظر شکل‌پذیری و مقاومت دارای اهمیت بیشتری بودند، با هم مقایسه گردیدند. نتیجه نهایی این است که اگر چه وجود سخت کننده در ورق اتصال سبب افزایش مقاومت اتصال می‌شود، ولی شکل‌پذیری آن را کم می‌کند؛ بنابراین افزودن سخت‌کننده‌های متعدد و بی‌رویه در ورق اتصال توصیه نمی‌شود.

واژگان کلیدی: ورق اتصال، منحنی هیستریزیس، ABAQUS.

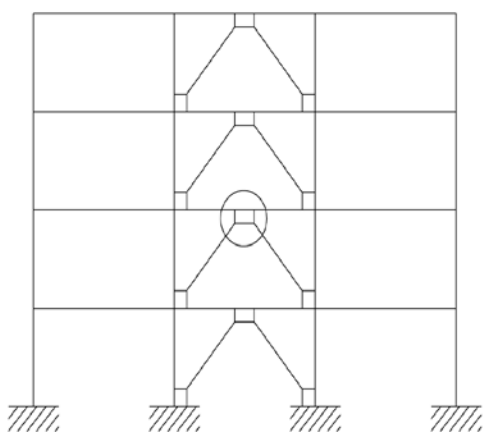
۱- مقدمه

مهاربندها به عنوان عناصر مقاوم در برابر بار جانبی از جمله زلزله در انواع مختلف ساختمان‌ها به کار می‌روند. یکی از مسائل مهم در این خصوص نوع اتصالات مهاربندهای ۸ در محل اتصال به تیرها می‌باشد. با توجه به رفتار پیچیده ورق اتصال در قاب-های مهاربندی هم‌محور (CBF)، جهت بررسی رفتار این اتصالات یا می‌بایست نمونه را در آزمایشگاه شبیه‌سازی کرد و یا از مدل‌سازی در نرم‌افزارهای المان محدود استفاده نمود (شکل (۱)).

بسیاری از قاب‌های مهاربندی شده با مهاربند هم مرکز جهت پخش انرژی از طریق تسلیم یا کمناش اعضای مهاربندی طراحی شده‌اند. این روش‌ها بر پایه فلسفه طراحی بر اساس ظرفیت می-باشند. اخیراً مطالعاتی در مؤسسه هاربین انجام شده تا رفتار چرخه‌ای و فشاری اتصالات ورق اتصال را بررسی نمایند. آستانه اصل و همکاران [۱] رفتار چرخه‌ای مهاربندهایی با مقاطع جفت نبشی پشت به پشت متصل به ورق اتصال را مطالعه نمودند. موضوع اصلی کار آن‌ها نیز رفتار مهاربند بود و کمناش خارج از صفحه و داخل صفحه مهاربندها مورد مطالعه قرار گرفت. کاهش قابل ملاحظه ظرفیت و رفتار ترد ورق‌های اتصال در برخی از

نمونه‌های آن‌ها ملاحظه شد، برای جلوگیری از این رفتار ترد، آنها پیشنهاد کردند در بین انتهای مهاربند و خطی که انتهای اتصال ورق به اعضای قاب را به هم وصل می‌کند یک طول کمناش آزاد به اندازه دو برابر ضخامت ورق اتصال ایجاد شود [۱].

[۲].



شکل ۱- اتصال میانی مهاربند ۸ هم محور

شود نیروی فشاری در ورق اتصال به وسیله ستون فرضی‌ای تحمل شود که در بین انتهای مهاربند و لبه‌های تیر و ستون متقاطع واقع است. روش پیشنهادی تورنتون متعاقباً برای محاسبه ظرفیت کمانش ارتجاعی برای در نظر گرفتن اثرات غیر ارتجاعی نیز گسترش داده شد [۲۲].

هو و چنگ یک تحقیق آزمایشگاهی و عددی بر روی رفتار کمانشی اتصالات با ورق که تحت بارهای فشاری یکنواخت قرار داده شدند انجام دادند. برنامه آزمایشگاهی آن‌ها بر روی اثرات ضخامت ورق هندسه، شرایط مرزی و خروج از مرکزیت متمرکز بود. کار هو و چنگ نشان داد که کمانش ورق‌های نازک در باری بسیار پایین‌تر از بار تسلیم اتفاق می‌افتد که با استفاده از روش ویتور به دست می‌آید [۲۳-۲۲]. موضوع اشاره شده توسط ژانگ و همکاران توسط Jung-Han و همکاران [۱۵] در سال ۲۰۰۸ برای اتصالات ورق اتصال گوشه نیز بیان شده است.

۲- مدل‌سازی اجزای محدود

جهت مدل‌سازی و بررسی رفتار چرخه‌ای اتصال میانی مهاربند ۸ هم محور، نرم‌افزار اجزای محدود غیر خطی ABAQUS مورد استفاده قرار گرفته است. جهت صحت سنجی مدل‌سازی انجام شده، مدل ساخته شده توسط Zhanga و همکاران [۳] در نرم‌افزار مدل شد و تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفت و نتایج حاصله با نتایج مدل Zhanga و همکاران مقایسه شد. دو مدل که مشخصات آن‌ها در ادامه آمده است مدل‌سازی، تحلیل و نتایج آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۱- ارزیابی مدل اجزای محدود

جهت اطمینان از نحوه مدل‌سازی و نتایج به دست آمده از مدل آزمایشگاهی Zhanga و همکاران [۱۲] با مشخصات ارائه شده در جدول (۱) و (۲) مدل نرم‌افزاری آن‌ها استفاده گردید. مشخصات مدل و تغییر شکل آن در شکل‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است.

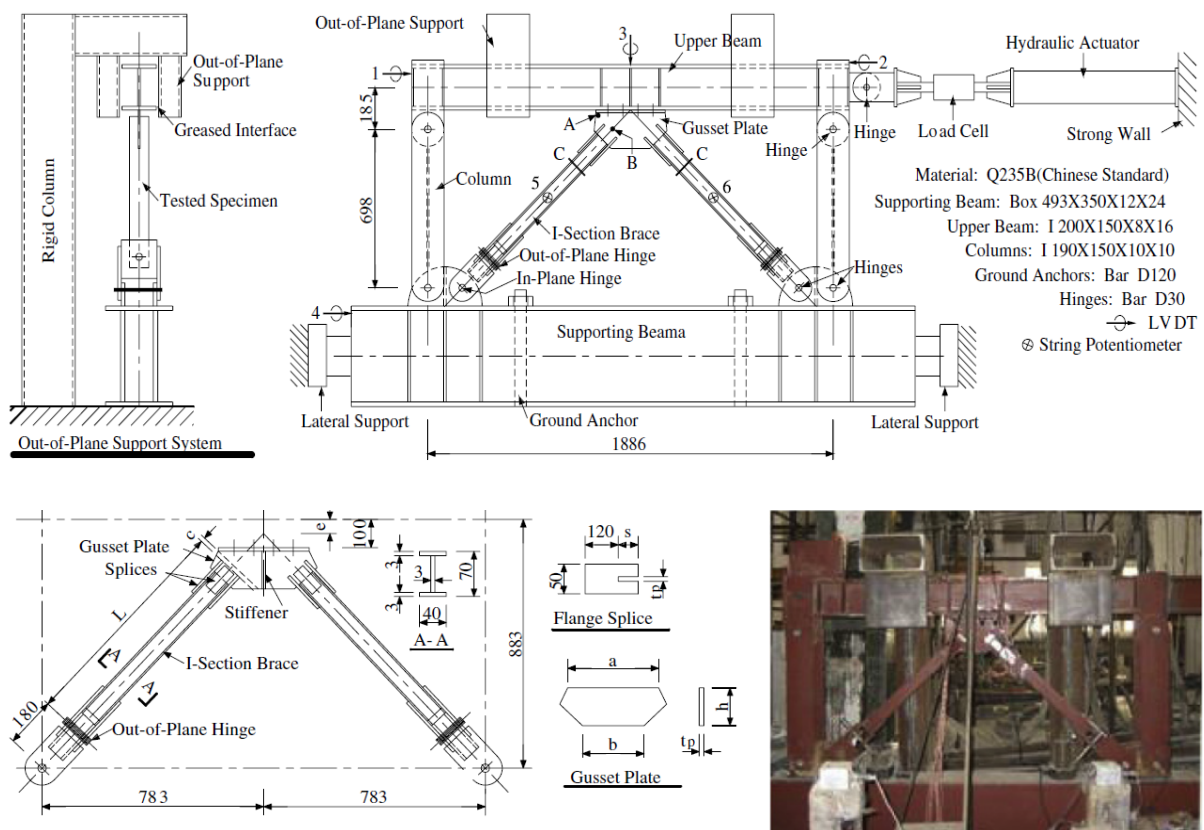
مقادیر ارائه شده در جدول (۲) با استفاده از آزمایش روی کوپن کششی که توسط Zhanga و همکاران [۱۲] انجام شده است، به دست آمده است و در این مقاله نیز از مقادیر مذکور استفاده شد. توضیحات تکمیلی در مقاله فوق‌الذکر آمده است.

اکثر تحقیقات گذشته بر روی ظرفیت حمل بار در ورق‌های اتصال مدل‌های توزیع تنش خطی و غیر خطی و روش‌های بررسی مقاومت از جمله مفهوم ناحیه مؤثر ویتور [۳] و مفهوم بلوک برشی [۴، ۵] متمرکز شدند. وقتی که ورق اتصال در لبه‌های آزادش و محلی نزدیک به انتهای اعضای وصله در معرض کمانش قرار می‌گیرد، ظرفیت کمانشی ورق اتصال را می‌توان با مقاومت فشاری نوار ستون فرضی با فاکتورهای طول مؤثر مشخص شده توسط روش‌های ارائه شده ساده، تخمین زد [۶، ۷]. به منظور بررسی شکل‌پذیری و قابلیت اتلاف انرژی عناصر مهاربندی تحت زلزله‌های شدید، مدل‌های شامل اندرکنش ورق اتصال و عضو مهاربند تحت بار سیکلی به کار گرفته شد. وقتی که مهاربند کمانش خارج از صفحه می‌کند، ۲ مفصل پلاستیک در ورق‌های اتصال در انتهای مهاربند و یک مفصل پلاستیک وسط دهانه مهاربند شکل می‌گیرد. پیشنهاد شد که برای اطمینان از شکل‌گیری مفاصل پلاستیک در ورق‌های اتصال، فاصله دو برابر ضخامت ورق اتصال در ناحیه آزاد ورق اتصال، بین انتهای مهاربند و خط مهار شده ورق اتصال رعایت شود [۸-۱۱]. Zhanga و همکاران [۱۲] نشان دادند که ضخامت اضافی ورق اتصال و وجود سخت کننده مزیت خیلی زیادی ندارد. ورق اتصال باید به اندازه کافی مقاومت داشته باشد (در حد کنترل ظرفیت مهاربند)، مقاومت و سختی اضافی، شکل‌پذیری سیستم را کاهش خواهد داد. محققین متعددی در این زمینه کار کرده‌اند [۱۳-۱۹].

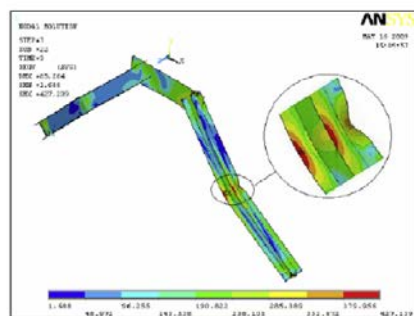
Chen و Chou [۲۰] در دانشگاه ملی تایوان آزمایشی روی اتصال مهاربندهای هم مرکز ۸ انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که بار فشاری نهایی ورق‌های اتصال مرکزی با افزودن سخت‌کننده به لبه‌های آزاد ورق اتصال افزایش می‌یابد.

Sheng و همکاران [۲۱] اثرات ضخامت و اندازه ورق اتصال زاویه مهاربند شرایط گیرداری خارج از صفحه مهاربند را بر روی رفتار و مقاومت ورق‌های اتصال تحت بار فشاری مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که ظرفیت فشاری نمونه‌های ورق اتصال تقریباً نسبت مستقیم با ضخامتشان دارند. تیر و ستون مجاور در منطقه مورد بررسی، اثر چندانی بر ظرفیت فشاری ورق نداشتند. همچنین نتایج بررسی آن‌ها نشان داد روش پیشنهادی تورنتون برای تخمین ظرفیت ورق‌های اتصال محافظه‌کارانه است.

تورنتون یک روش کران پایین برای تعیین مقاومت فشاری اتصالات با ورق ارائه نمود. به نحوی که در این روش فرض می‌-



شکل ۲- مدل آزمایشگاهی تهیه شده توسط Zhanga و همکاران [۱۲]



شکل ۳- اتصال مدل شده در آزمایشگاه و نرم‌افزار ANSYS توسط Zhanga و همکاران [۱۲]

جدول ۱- مشخصات مدل بررسی شده

مدل	e (mm)	tp (mm)	c (mm)	b (mm)	L (mm)	a (mm)	h (mm)	s (mm)
Kz-1	۱۰۰	۳/۹۲	۱۰(2.5tp)	۱۸۳	۷۹۶	۳۲۲	۱۵۷	۵۲

جدول ۲- مشخصات فولاد استفاده شده در مدل

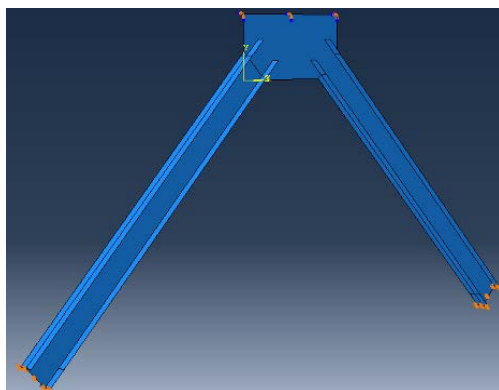
ضخامت اسمی (mm)	ضخامت واقعی (mm)	مدول الاستیسیته E (MPa)	تنش تسلیم F_y (MPa)	تنش نهایی F_u (MPa)	ضریب پواسون	h (mm)	l (mm)	l_0 (mm)
۳	۲/۸۷	۲۰۵۰۰۰	۳۱۶	۴۵۱	۰/۲۷۲	۴۰	۵۵	۴۵

۲-۲- مدل‌سازی

برای ساده‌سازی مدل محاسباتی و افزایش بازده محاسباتی، تیر بالای مهاربند و ستون‌های کناری با شرایط مهاریه همان‌گونه که در شکل (۳) نشان داده شده است جایگزین شد. صفحه انتهایی و بال پایینی تیر ضخامت زیادی داشتند و با پیچ‌های بسیار پر مقاومت متصل شده بودند، که آن‌ها می‌توانستند به عنوان یک بدنه پیوسته در نظر گرفته شوند و نیاز به مدل کردن پیچ‌ها در مدل المان محدود نبود [۱۲].

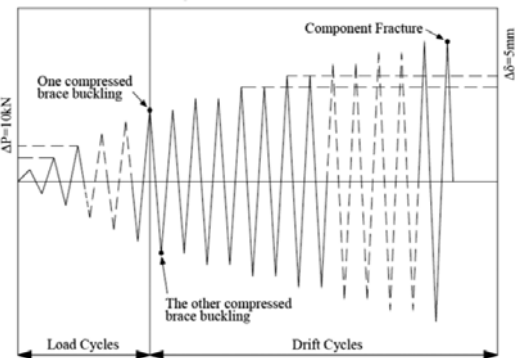
در شکل (۶) نحوه تعریف تکیه‌گاه‌ها برای نمونه نشان داده شده است. در تعریف تکیه‌گاه‌ها باید به این نکته توجه داشت که تمامی آن‌ها می‌بایست در بخش Initial از منوی Step تعریف شوند. در دو تکیه‌گاه پایینی، آزادی انتقال U1، U2 و U3 بسته شد. در تکیه‌گاه بالایی (تکیه‌گاه روی ورق اتصال) آزادی انتقال U2 و U3 و دوران UR1، UR2 و UR3 بسته شد، یعنی به آن‌ها مقادیر صفر اختصاص داده شد. با این کار تمامی حرکات انتقالی و دورانی، غیر از حرکت انتقالی در جهت X بسته می‌شود (شکل (۶)).

مشخصات مقاطع مهاربندها در شکل (۲) نشان داده شده است. تمامی المان‌های نمونه به صورت المان shell در نظر گرفته شد و تمامی المان‌ها به هم چسبیده شد (Merge). همان‌طور که در شکل (۷) ملاحظه می‌شود، مش‌ها به صورت چهار نقطه‌ای می‌باشند و اندازه هر مش ۱ سانتی‌متر در ۱ سانتی‌متر تعریف شده است. برای انجام مش‌بندی صحیح بعد از این که تمامی المان‌ها به هم چسبیدند، کل مجموعه می‌بایست در غالب Independent قرار گیرد. سپس در منوی Mesh، عمل مش‌بندی به سهولت انجام می‌پذیرد.



شکل ۶- محل تکیه‌گاه‌ها در نمونه مورد نظر

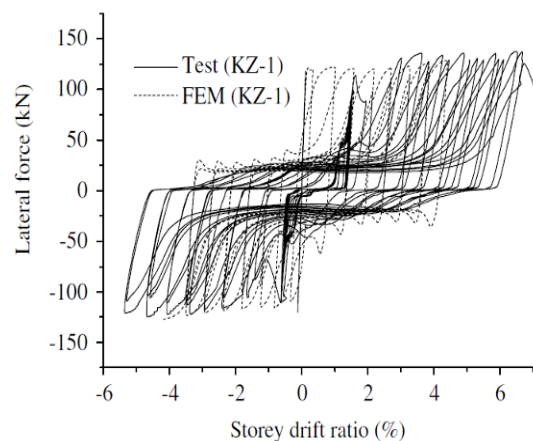
شکل‌های (۳) و (۴) نحوه بارگذاری سیکلی انجام شده توسط Zhanga و همکاران [۱۲] را نشان می‌دهند که در این تحقیق نیز از همین بارگذاری استفاده شد.



شکل ۴- نمودار بارگذاری ارائه شده توسط Zhanga و همکاران [۱۲]

همان‌طور که در نمودار شکل (۴) ملاحظه می‌شود ابتدا بار و سپس تغییر مکان به سازه اعمال می‌گردد. در هر دو مرحله، هم بار و تغییر مکان به صورت رفت و برگشتی به سازه اعمال می‌شود.

در شکل (۵) نتیجه ارائه شده در تحقیق Zhanga و همکاران ارائه شده است. جهت کالیبره نمودن نتایج حاصله از نرم‌افزار آباکوس می‌بایست به منحنی ذکر شده برسیم.



(a) KZ-1.

شکل ۵- منحنی هیستریزیس حاصله از نمونه آزمایشگاهی و مدل نرم‌افزاری ارائه شده توسط Zhanga و همکاران [۱۲]

برای در نظر گرفتن کمانش مهاربندها در نرم‌افزار آباکوس ابتدا می‌بایست یک مدل اولیه ساخت و در منوی STEP، تحلیل کمانشی معرفی کنیم، سپس تحلیل کمانشی را انجام می‌دهیم. با اینکار نحوه کمانش مدل و تعداد مودهای کمانشی مشخص می‌گردد. بعد از انجام تمامی تنظیمات مدل اولیه و قبل از انجام تحلیل باید دستورات زیر در بخش انتهایی Edit Keywords نرم افزار اضافه شود.

*node file

u

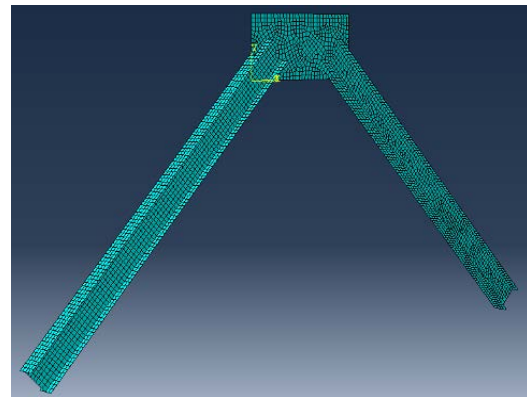
بعد از انجام تحلیل مدل اولیه، یک کپی از این مدل در نرم-افزار تهیه می‌شود و بارگذاری اصلی در منوی STEP تعریف می‌شود. ضمناً باید بارگذاری کمانشی که قبلاً انجام شده، غیر فعال گردد. در این مرحله از دو STEP جدید استفاده می‌شود که یکی با زمان ۱۰ ثانیه مربوط به اعمال بار و دیگری با زمان ۲۸ ثانیه مربوط به اعمال تغییر مکان می‌باشد. ضمناً در بخش Basic تیک مربوط به تحلیل غیر خطی زده می‌شود. در بخش تعریف Increments منوی Step، ماکزیمم گام‌ها ۱۰۰۰۰ انتخاب شد و سائز گام ابتدایی ۰/۱ و حداقل سائز گام 10^{-16} و ماکزیمم سائز گام‌ها، ۱ انتخاب گردید. بعد از تنظیمات منوی STEP، در منوی LOAD هر دو بارگذاری نیرویی و تغییر مکانی به صورت سیکلی به نقطه ابتدایی و بالایی ورق اتصال اعمال می‌گردد (نقطه A در شکل (۲)). برای اعمال بار نیرویی، عدد ۱۰۰ در بخش CF1 وارد می‌شود و مطابق با جدول (۳)، سیکل‌های بارگذاری اعمال می‌گردد. برای اعمال بار تغییر مکانی، عدد ۰/۱ در بخش CF1 وارد می‌گردد و مطابق با جدول (۴)، سیکل‌های بارگذاری تغییر مکانی اعمال می‌شود. بعد از انجام تمامی تنظیمات و قبل از انجام تحلیل نهایی باید دستورات زیر از بخش Keywords Edit نرم‌افزار حذف شود.

*node file

u

جدول ۳- نحوه اعمال بار سیکلی در نرم‌افزار

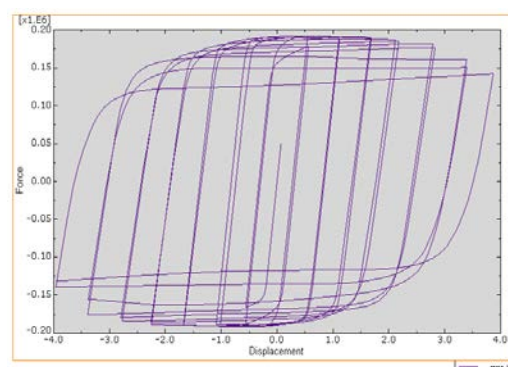
زمان (ثانیه)	دامنه (میلی‌متر)	زمان (ثانیه)	دامنه (میلی‌متر)
۰	۰	۶	-۳۰
۱	۱۰	۷	۴۰
۲	-۱۰	۸	-۴۰
۳	۲۰	۹	۵۰
۴	-۲۰	۱۰	-۵۰
۵	۳۰		



شکل ۷- نحوه مش‌بندی نمونه مورد نظر

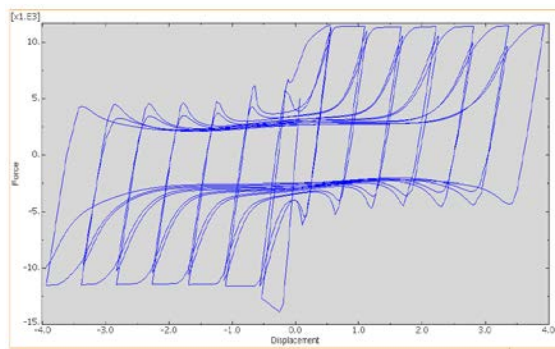
بارگذاری در دو مرحله اعمال بار و اعمال تغییر مکان به مدل معرفی شد که برای مرحله اول ۱۰ ثانیه (اعمال بار) و برای مرحله دوم (اعمال تغییر مکان) ۲۸ ثانیه در نظر گرفته شده است. برای این که سطح فوقانی ورق اتصال عملکردی یکپارچه داشته باشد در منوی Interaction از گزینه Coupling استفاده می‌شود که با این عمل، کلیه سطوح فوقانی ورق اتصال به نقطه ابتدایی آن متصل می‌شود. با انجام این عمل دیگر نیاز به مدل-سازی تیر بالای مهاربند نمی‌باشد.

برای این که بتوان به نتایج به دست آمده توسط Zhanga و همکاران رسید می‌بایست در نرم‌افزار آباکوس اثر کمانش مهاربندها را لحاظ کرد. بدون در نظر گرفتن اثر کمانش مهاربندها نتایج دارای خطای زیادی خواهد بود و شیب منحنی هیستریزیس در مناطق مختلف نمودار صحیح نمی‌باشد. در شکل (۸) یک منحنی هیستریزیس بدون اعمال اثر کمانش مهاربندها، آورده شده است که به وضوح می‌توان دریافت که با نتایج ارائه شده توسط ژانگ و همکاران اختلاف دارد.



شکل ۸- منحنی هیستریزیس ارائه شده توسط نرم‌افزار آباکوس بدون در نظر گرفتن اثر کمانش در مهاربندها

هیستریزیس که خروجی نرم‌افزار آباکوس می‌باشد ارائه شده است. به منظور مشاهده فرضیاتی مانند به هم چسباندن المان‌ها در مدل اجزای محدود بخصوص در ناحیه تماس عضو مهاربند به ورق اتصال و عدم شبیه‌سازی جوش‌ها می‌توان به مقاله Zhanga و همکاران مراجعه کرد [۱۲].



شکل ۹- منحنی هیستریزیس ارائه شده توسط نرم‌افزار آباکوس

۳-۲- تحلیل نتایج

همان‌طور که در شکل (۱۰) ملاحظه می‌شود اختلاف اندکی بین نتایج Zhanga و نتایج به دست آمده توسط نرم‌افزار ABAQUS وجود دارد. دلیل این اختلاف هم می‌تواند به علت به دست آوردن نمودار چانگ از روی عکس باشد که توسط نرم‌افزار get data انجام شده است. بدین ترتیب صحت مدل‌سازی و تحلیل مشخص می‌گردد.

جدول ۴- نحوه اعمال تغییر مکان سیکلی در نرم‌افزار

زمان (ثانیه)	دامنه (میلی‌متر)	زمان (ثانیه)	دامنه (میلی‌متر)
۰	۰	۱۵	۲۰
۱	۵	۱۶	-۲۰
۲	-۵	۱۷	۲۵
۳	۵	۱۸	-۲۵
۴	-۵	۱۹	۲۵
۵	۱۰	۲۰	-۲۵
۶	-۱۰	۲۱	۳۰
۷	۱۰	۲۲	-۳۰
۸	-۱۰	۲۳	۳۰
۹	۱۵	۲۴	-۳۰
۱۰	-۱۵	۲۵	۳۵
۱۱	۱۵	۲۶	-۳۵
۱۲	-۱۵	۲۷	۳۵
۱۳	۲۰	۲۸	-۳۵
۱۴	-۲۰		

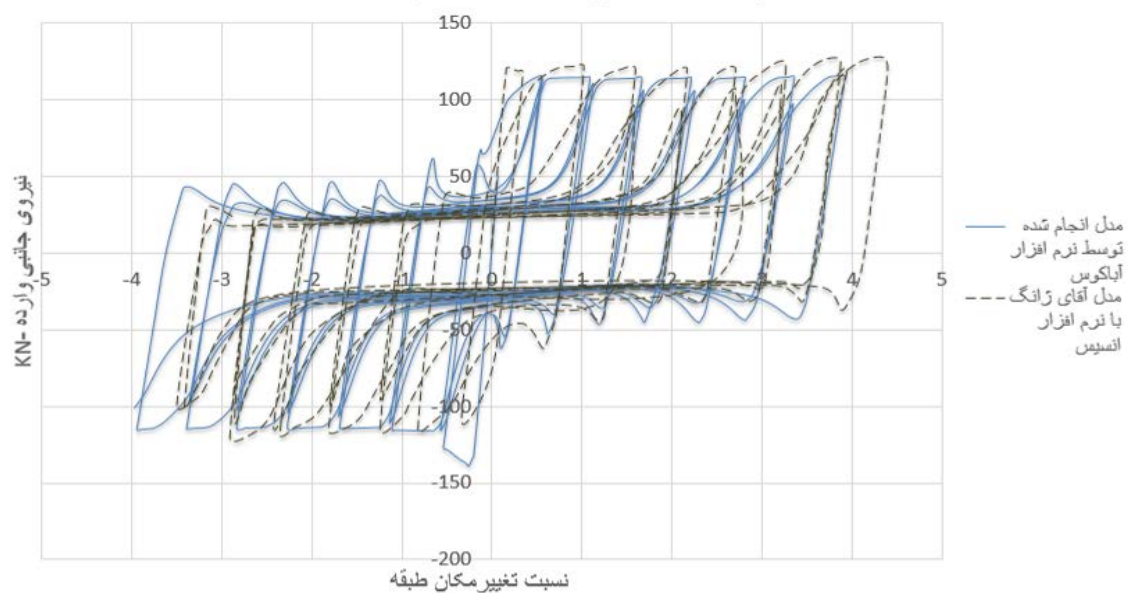
در همان بخش Edit Keywords نرم‌افزار و در بالای دستور STEP توضیحات زیر اضافه می‌شود: (۲۴-۶ اسم مدل اولیه می‌باشد)

*IMPERFECTION, FILE=6-24, STEP=1

1, 0.1

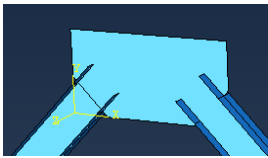
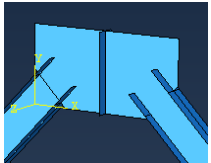
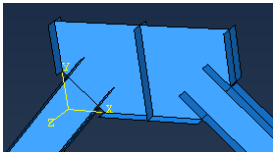
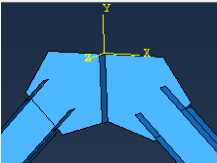
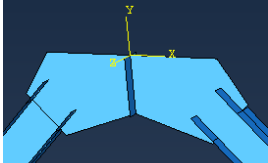
2, 0.1

بعد از اصلاح مدل و اعمال اثر کماتش در مهاربندها نتایج مناسب به دست آمد که در شکل (۹)، یک نمونه منحنی

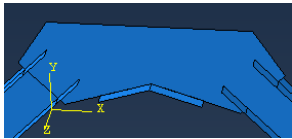
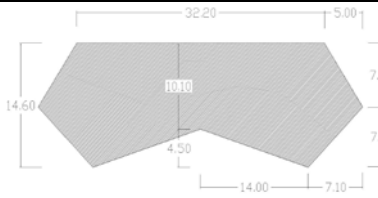
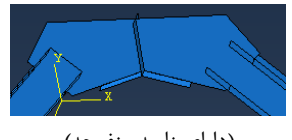
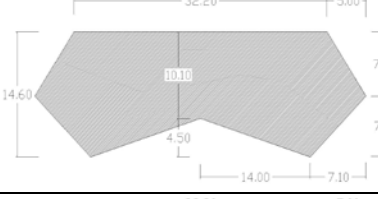
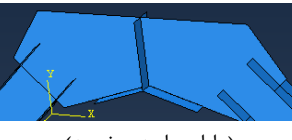
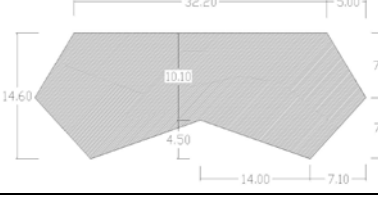
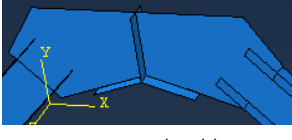
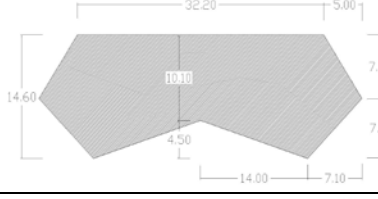
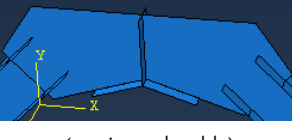
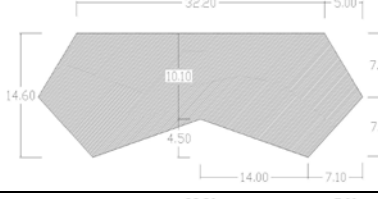
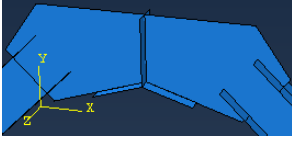
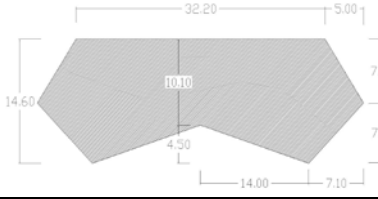
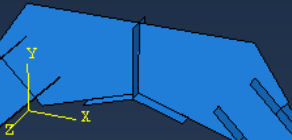
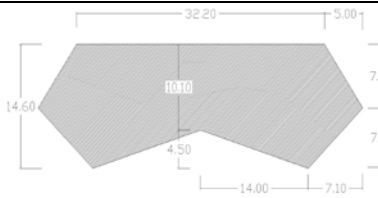


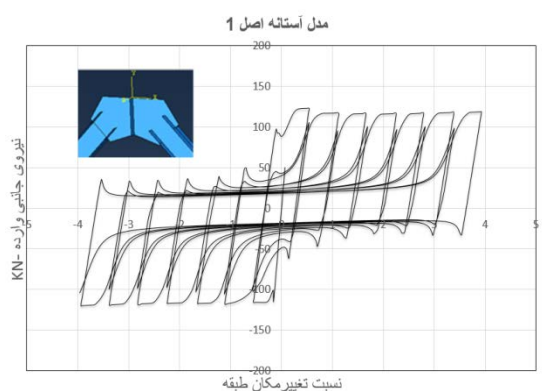
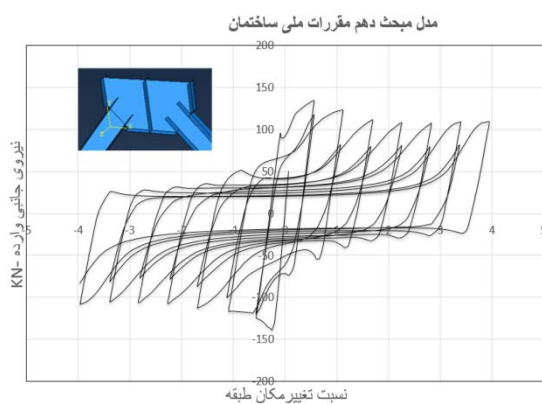
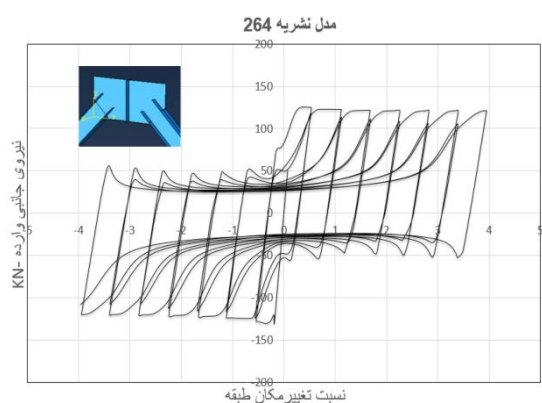
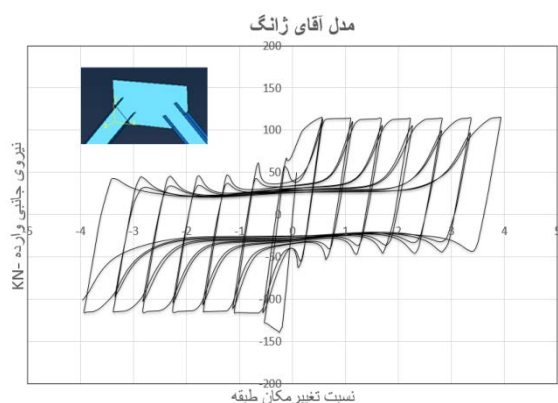
شکل ۱۰- صحت سنجی مدل

جدول ۵- ابعاد مدل‌های بررسی شده

شماره مدل	نام مدل	شکل مدل	ابعاد مدل	وضعیت سخت‌کننده
۱	مدل Zhanga [۱۲]		(دارای زاویه قائمه)	بدون سخت‌کننده
۲	مدل نشریه ۲۶۴ [۲۵]		(دارای زاویه قائمه)	دارای سخت‌کننده در وسط
۳	مدل میحث دهم مقررات ملی [۲۶]		(دارای زاویه قائمه)	دارای سخت‌کننده در دورتا دور
۴	مدل آستانه اصل ۱ [۱]		(دارای زاویه منفرجه)	دارای سخت‌کننده در وسط
۵	مدل آستانه اصل ۲		(دارای زاویه منفرجه)	دارای سخت‌کننده در وسط
۶	مدل آستانه اصل ۳ [۱]		(دارای زاویه منفرجه)	دارای سخت‌کننده در وسط و پایین
۷	مدل آستانه اصل ۴ [۱]		(دارای زاویه منفرجه)	دارای سخت‌کننده در پایین

جدول ۵- (ادامه)

شماره مدل	نام مدل	شکل مدل	ابعاد مدل	وضعیت سخت کننده
۸	مدل آستانه اصل ۵ [۱]	 (دارای زاویه منفرد)		دارای سخت کننده در پایین
۹	مدل آستانه اصل ۶ [۱]	 (دارای زاویه منفرد)		دارای سخت کننده در وسط و پایین
۱۰	مدل آستانه اصل 7-1t [۱]	 (دارای زاویه منفرد)		دارای سخت کننده در وسط و پایین
۱۱	مدل آستانه اصل 8-1.5t [۱]	 (دارای زاویه منفرد)		دارای سخت کننده در وسط و پایین
۱۲	مدل آستانه اصل 9-2t [۱]	 (دارای زاویه منفرد)		دارای سخت کننده در وسط و پایین
۱۳	مدل آستانه اصل 10-2.5t [۱]	 (دارای زاویه منفرد)		دارای سخت کننده در وسط و پایین
۱۴	مدل آستانه اصل 11-3t [۱]	 (دارای زاویه منفرد)		دارای سخت کننده در وسط و پایین



توالی شکست مهاربندها و اتصالات در توافق با نظم سلسله واری می‌باشد [۱، ۲، ۱۲]. به طور کلی، مودهای شکست و ترتیب آن‌ها به این صورت است:

- (۱) کمناش اعضای مهاربندی،
- (۲) چرخش خارج از صفحه پلاستیک ورق‌های اتصال،
- (۳) تسلیم اعضای مهاربندی،
- (۴) تسلیم ورق‌های اتصال،
- (۵) کمناش لبه آزاد ورق‌های اتصال و
- (۶) شکستگی اعضای مهاربندی.

مودهای شکست شکل‌پذیر مثل تسلیم اعضای مهاربندی یا اتصالات، قبل از مودهای شکست ترد مثل شکست اتصالات رخ می‌دهد. بعد از مدل‌سازی نمونه‌های ارائه شده در جدول (۵) در نرم‌افزار آباکوس، مدل‌ها تحلیل شدند و نتایج تحلیل آن‌ها در قالب منحنی هیستریزس در شکل (۱۱) آورده شده است.

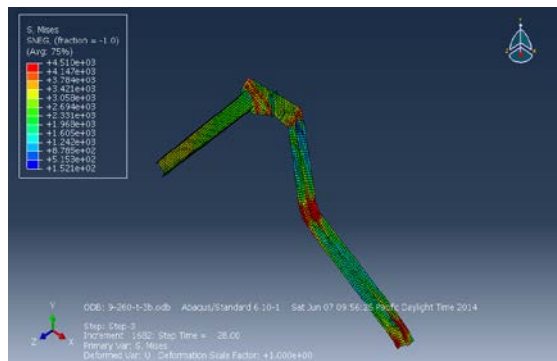
لازم به ذکر است که ضخامت تمامی اجزاء ثابت می‌باشد و فرق نمونه‌ها در شکل آن‌ها و همچنین وجود و یا عدم وجود سخت‌کننده می‌باشد. مدل ۲ بیانگر نمونه ارائه شده در آیین‌نامه اتصالات در سازه‌های فولادی (نشریه ۲۶۴ - سال ۱۳۸۴) [۲۵] می‌باشد و مدل ۳ بیانگر نمونه ارائه شده در مبحث دهم مقررات ملی سال ۱۳۸۷ [۲۶] است. مدل‌های ۴ تا ۱۴ نیز مربوط به تحقیقات آستانه اصل [۱] می‌باشد. برای مطالعه رفتار تنش کرنش فولاد می‌توان به مقاله Zhanga و همکاران [۱۲] مراجعه کرد.

کمناش محلی پلاستیک وسط دهانه مهاربند پس از توسعه تغییر شکل خارج از صفحه مهاربند رخ می‌دهد. این امر تأثیر قابل توجهی در پاسخ کلی قاب مهاربندی شده دارد. شکل (۱۲) مقایسه خوبی بین محاسبه و کمناش مشاهده شده فیزیکی مهاربند فشاری و کمناش محلی وسط دهانه‌اش برای نمونه ۵ نشان می‌دهد.

جدول ۶- طول سخت‌کننده‌های پایینی در مدل‌ها

مدل	طول	مدل	طول
۶	۴/۸	۱۱	۸/۱۸
۷	۴/۸	۱۲	۷/۹۶
۸	۸/۶	۱۳	۷/۷۴
۹	۸/۶	۱۴	۷/۵
۱۰	۸/۴		

شکل ۱۱- نمودار هیستریزس ۱۴ نمونه

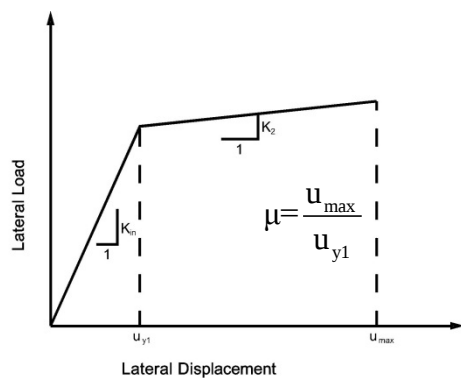


شکل ۱۳- نمایش تغییر شکل مدل آستانه اصل ۲ در پایان بارگذاری

۳- بررسی نتایج

۳-۱- منحنی پوش و ایده آل سازی رفتار

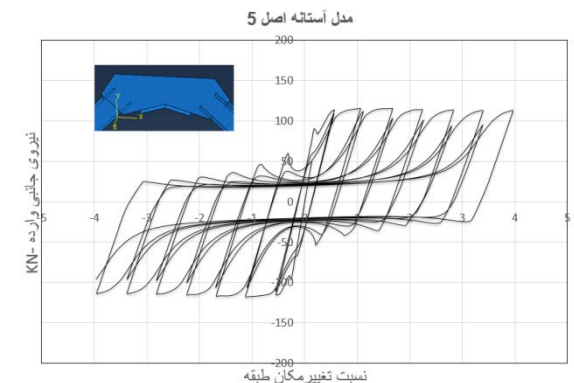
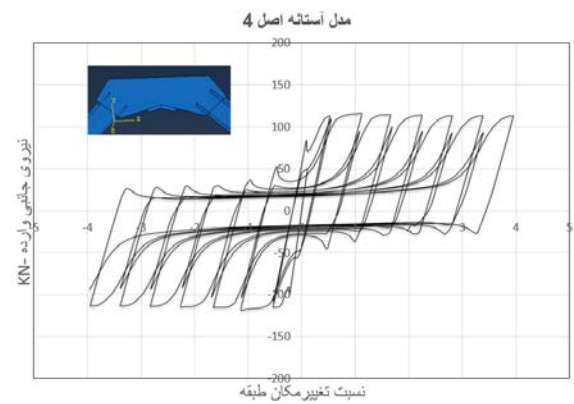
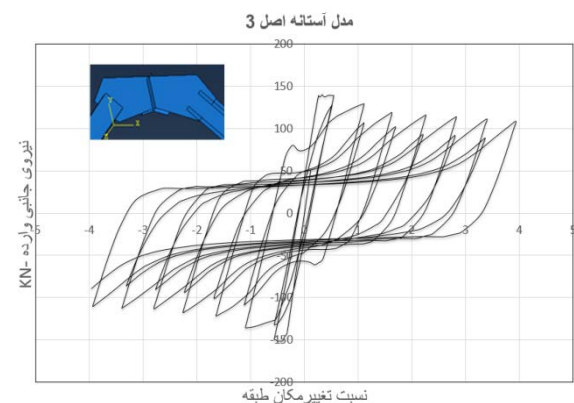
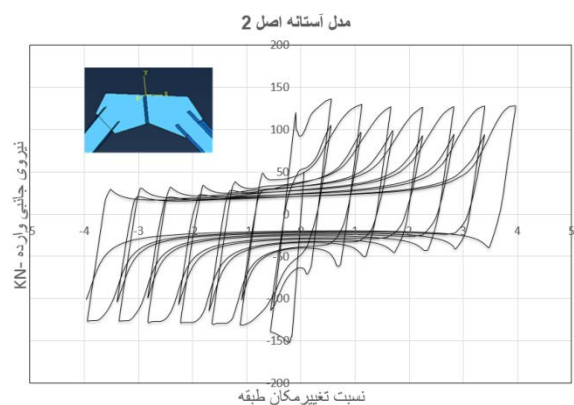
یکی از مشخصات مهم مورد استفاده در رفتار لرزه‌ای، منحنی پوش در بارگذاری‌های رفت و برگشتی می‌باشد. در این تحقیق، منحنی پوش از اتصال نقطه گذرنده از عبور اولین سیکل از دو سیکل n ام با منحنی مربوط به دومین سیکل از دو سیکل $n-1$ ام به دست آمده است [۲۴]. شکل (۱۳) نحوه به دست آوردن شکل‌پذیری را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲- تعریف نمودار ایده آل شده

۳-۲- مقایسه نتایج

در جدول (۷)، μ_1 نشانگر شکل‌پذیری در محدوده مثبت منحنی هیستریزس و μ_2 نشانگر شکل‌پذیری در محدوده منفی منحنی هیستریزس می‌باشد. ۲ نشان دهنده مقاومت حداکثر مدل می‌باشد. همان‌طور که در جدول (۷) آمده است و با توجه به منحنی ایده آل شده، شکل‌پذیری مدل ۹ از همه بیشتر است و شکل‌پذیری مدل ۱ از همه کمتر است. همچنین مقاومت مدل‌های ۳، ۸ و ۱۲ از بقیه نمونه‌ها بیشتر است.



شکل ۱۱- (ادامه)

جدول ۷- مشخصات به دست آمده از مدل های بررسی شده

شکل- پذیری و مقاومت	مدل ۱	مدل ۲	مدل ۳	مدل ۴	مدل ۵	مدل ۶	مدل ۷	مدل ۸	مدل ۹	مدل ۱۰	مدل ۱۱	مدل ۱۲	مدل ۱۳	مدل ۱۴
$\mu 1$	۶/۴۰	۶/۷۰	۶/۵	۶/۸۶	۷/۸۶	۸/۷۷	۷/۰۰	۶/۳۸	۷/۴۸	۶/۶۰	۶/۵۸	۶/۷۸	۶/۷۲	۶/۱۵
$\mu 2$	۷/۳۱	۷/۶۶	۶/۷	۷/۷۵	۸/۲۱	۸/۷۴	۷/۹۷	۷/۷۹	۹/۱۵	۷/۳۹	۷/۵۸	۷/۴۷	۷/۵۳	۷/۳۶
$r (KN)$	۱۱۳/۷۹	۱۱۸/۰۰	۱۱۸/۰۰	۱۰۰/۷۳	۹۸/۷۶	۱۰۸/۰۱	۹۸/۱۵	۱۱۶	۱۰۳	۱۰۳	۱۰۰	۱۱۶	۱۰۲	۹۴/۸۲

۲- در ورق های اتصال دارای زاویه منفرجه، نمونه ای که دارای فاصله ۲ برابر ضخامت ورق اتصال در ناحیه آزاد آن ورق می باشد ($2t$)، بیشترین مقاومت را دارد. ضمن این که نمونه دارای فاصله $2.5t$ حدود ۸ درصد شکل پذیرتر از نمونه با فاصله $2t$ است که چندان زیاد نمی باشد. بنابر این نمونه دارای فاصله $2t$ همچنان به عنوان بهترین گزینه انتخابی به طراحان توصیه می شود.

۳- برای به دست آوردن جواب های مناسب در مدل سازی مهاربندهای ۸ هم محور لازم است در تعریف تکیه گاه ها ضلع پایینی مهاربند عملکرد مفصلی داشته باشد و تکیه گاه فوقانی مهاربند که روی ورق اتصال است در جهت طولی، آزاد در نظر گرفته شود همچنین به مسئله کمایش پذیر بودن مهاربند در هنگام مدل سازی توجه شود.

۵- مراجع

- [1] Astaneh-Asl, A., "Seismic Behavior and Design of Gusset Plates for Braced Frames", Steel Tips, Structural Steel Education Council, Moraga, CA, 1998.
- [2] AISC, "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings", Chicago (IL): American Institute of Steel Construction, US, 2005.
- [3] Walbridge, S. S., Grondin, G. Y., Cheng, J. J. R., "Gusset Plate Connections Under Monotonic and Cyclic Loading", Canadian Journal of Civil Engineering, 2005, 32, 981-95.
- [4] Cem, T., "Block Shear Failure of Gusset Plates with Welded Connections", Engineering Structures, 2007, 29, 11-20.
- [5] Bino, H. B. S., Gilbert, G. Y., Robert, D. G., "Tension and Shear Block Failure of Bolted Gusset Plates", Canadian Journal of Civil Engineering, 2006, 33, 395-408.
- [6] Aiken, L. D., Mahin, S. A., Uriz, P., "Large-Scale Testing of Buckling-Restrained Brace Frames", Proceedings of Japan Passive Control Symposium, Japan, 2002.

با مقایسه مدل های ۱، ۲ و ۳ که دارای ورق اتصال مشابه ولی با تعداد سخت کننده های متفاوت می باشند می توان نتیجه گرفت که مدل های دارای سخت کننده بیشتر مقاومت بیشتری دارند. از لحاظ شکل پذیری مدل ۲ از مدل ۱ و مدل ۳ عملکرد بهتری داشت. در مقایسه مدل های دارای زوایای منفرجه با یک سخت کننده میانی (مدل های ۴ و ۵) با مدل های دارای زوایای قائمه با یک سخت کننده میانی (مدل ۲)، مدل های با زوایای منفرجه حدود ۱۶ درصد شکل پذیرتر بودند. بنابر این مدل های دارای زوایای منفرجه عملکرد بهتری به لحاظ شکل پذیری داشتند اگرچه گاهی اوقات مقاومتشان کمی کمتر بود.

با ملاحظه جدول (۷) و در مقایسه نمونه ها به لحاظ فاصله آزاد انتهای مهاربند در ورق اتصال، اگر نمونه ها را نسبت به نمونه دارای فاصله دو برابر ضخامت ورق نسبت به خط تکیه گاهی ورق اتصال ($2t$) بسنجیم، نمونه دارای فاصله $2.5t$ حدود ۸٪ شکل پذیرتر از نمونه دارای فاصله $2t$ می باشد که قابل ملاحظه نیست. نمونه با فاصله $2t$ بیشترین مقاومت را نسبت به نمونه های با فاصله های $1t$ ، $1.5t$ ، $2.5t$ و $3t$ دارد. بنابر این نمونه دارای فاصله $2t$ نسبت به خط تکیه گاهی ورق اتصال به عنوان بهترین گزینه برای استفاده طراحان پیشنهاد می شود.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش بر روی رفتارهای هیستریزیس ۱۴ سیستم مهاربندی ۸ هم محور، تمرکز شده است. نتایج حاصل از این تحقیق عبارتند از:

- ۱- مدل هایی که دارای زاویه منفرجه بودند و فقط یک سخت کننده در وسط ورق اتصال داشتند، نسبت به مدل های دارای زوایای قائمه و با یک سخت کننده میانی حدود ۱۶ درصد شکل پذیرتر بودند. بنابر این می توان گفت مدل های دارای زوایای منفرجه عملکرد بهتری به لحاظ شکل پذیری دارند.

- [19] Rosenstrauch, P. L., Sanayei, M., Brenner, B. R., "Capacity Analysis of Gusset Plate Connections Using the Whitmore, Block Shear, Global Section Shear, and Finite Element Methods", *Engineering Structures*, 2013, 48, 543-557.
- [20] Chou, C. C., Chen, P. J., "Compressive Behavior of Central Gusset Plate Connections for a Buckling-Restrained Braced Frame", *Journal of Constructional Steel Research*, 2008, 65, 1138-1148.
- [21] Sheng, N. a., Yam, C. H. B., Iu, V. P. C., "Analytical Investigation and the Design of the Compressive Strength of Steel Gusset Plate Connections", *Journal of Constructional Steel Research*, 2001, 58, 1473-1493.
- [۲۲] قلعه‌نوی، م.، در محمدی طوسی، م. ج.، "بررسی رفتار غیر خطی اتصالات صفحات بادبندی در تراز فونداسیون"، مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، اردیبهشت ۱۳۸۹.
- [۲۳] آفاکوچک، ع. ا.، قلمی‌فرد، ا.، "بررسی رفتار ورق‌های اتصال و مهاربندی فولادی همگرا تحت اثر بارهای یکنواخت و چرخه‌ای"، مجموعه مقالات چهارمین کنگره ملی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ۱۳۸۷.
- [۲۴] معرفت، م. ص.، خان‌محمدی، م.، خسروی، م.، علاقه‌بندیان، ر.، "مطالعه آزمایشگاهی رفتار لرزه‌ای تیرهای بتن مسلح در ساختمان‌های نیمه مهندسی تحت اثر بارهای رفت و برگشتی و یک طرفه"، نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۱۳۸۴، ۳۹ (۳)، ۴۰۳-۴۱۳.
- [۲۵] "نشریه ۲۶۴، آیین‌نامه اتصالات در سازه‌های فولادی"، ۱۳۸۴.
- [۲۶] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، "مبحث دهم مقررات ملی ساختمان"، ۱۳۸۷.
- [7] Yam, M. C. H., Cheng, J. J. R., "Behavior and Design of Gusset Plate Connections in Compression", *Journal of Constructional Steel Research*, 2002, 58, 1143-1159.
- [8] Astaneh-Asl, A., Subhash, G. C., "Cyclic in-Plane Buckling of Double Angle Bracing", *Journal of Structural Engineering*, 1984, 110 (9), 2036-2055.
- [9] Rabinovitch, J. S., Cheng, J. J. R., "Cyclic Behavior of Steel Gusset Plate Connections", Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, 1993.
- [10] Brad, S. Tom, B., "Behavior of Square Hollow Structural Steel Braces with End Connections under Reversed Cyclic Axial Loading", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 2003, 30, 745-753.
- [11] Gilberto, M. S., Jeffrey, P. A., Constantin, C., "Gusset Plate Connections to Circular Hollow Section Braces under Inelastic Cyclic Loading", *Journal of Structural Engineering*, 2008, 134 (7), 1252-1258.
- [12] Zhanga, W., Huang, M., Zhanga, Y., Sunb, Y., "Cyclic Behavior Studies on I-Section Inverted V-Braces and their Gusset Plate Connections", *Journal of Constructional Steel Research*, 2010, 6, 407-420.
- [13] Jung-Han, Y., Charles, R. W., Dawn, L. E., "Analytical Performance Simulation of Special Concentrically Braced Frames", *Journal of Structural Engineering*, 2008, 134 (6), 881-889.
- [14] Dawn, L. E., Charles, R. W., David, H., Shawn, J., Brandon, K., "Improved Seismic Performance of Gusset Plate Connections", *Journal of Structural Engineering*, 2008, 134 (6), 890-901.
- [15] Jung-Han, Y., Dawn, L. E., Charles, R. W., "Influence of Connection Design Parameters on the Seismic Performance of Braced Frames", *Journal of Constructional Steel Research*, 2008, 64, 607-623.
- [16] Yamamoto, K., Akiyama, N., Okumura, T., "Buckling Strength of Gusseted Truss Joints", *Journal of Structural Engineering*, 1988, 114 (3), 575-590.
- [17] Crosti, C., Duthinh, D., "A Nonlinear Model for Gusset Plate Connections", *Engineering Structures*, 2014, 62-63, 135-147.
- [18] Cui, Y., Asada, H., Kishiki, S., Yamada, S., "Ultimate Strength of Gusset Plate Connections with Fillet Welds", *Journal of Constructional Steel Research*, 2012, 75, 104-115.

EXTENDED ABSTRACT

Studying the Behavior of Central Gusset Plate Connections on Inverted V-Braces

Moosa Mazloom*, Vahid Salehi

Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

Received: 09 October 2015; **Accepted:** 01 May 2016

Keywords:

Gusset plate, Hysteretic behavior, ABAQUS

1. Introduction

In this research, the hysteretic behavior of 14 inverted-V braces and their gusset plate connections subjected to inelastic cyclic loading is examined through analytical simulations. It was modeled in ABAQUS software and the analysis type was static nonlinear analysis. Gusset plates with a constant thickness but with different sizes and shapes were used. To verify the correctness of the analysis, hysteretic behavior of gusset plates obtained from analysis was compared with experimental results. This comparison showed the exactness of the modeling. Then 14 samples of more important gusset plates in terms of ductility and strength were compared. The final result is that although stiffener in the gusset plates increase the strength of connections, they reduce ductility; so, numerous and indiscriminate addition of stiffeners in gusset plates are not recommended.

2. Methodology

For modeling the cyclic behavior of inverted-V braces and their central gusset plate connections, nonlinear finite element ABAQUS software was used. The model was validated by the experimental work of Zhanga et al. [1]. Fig. 1 shows the modeling in ABAQUS software. Fig. 2 shows the validation of the model. It is worth nothing that Astaneh-Asl reported the results of cyclic load tests of three gusset plate specimens representing the V-braced connections too. However, buckling or yielding could not be considered in his tests [2].

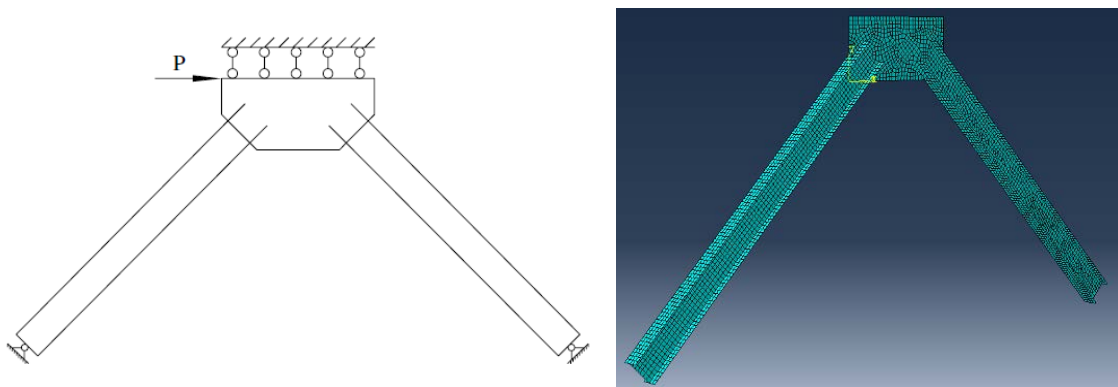


Fig. 1. Modeling in ABAQUS software

* Corresponding Author

E-mail addresses: mazloom@srttu.edu (Moosa Mazloom), vahid_structure@yahoo.com (Vahid Salehi).

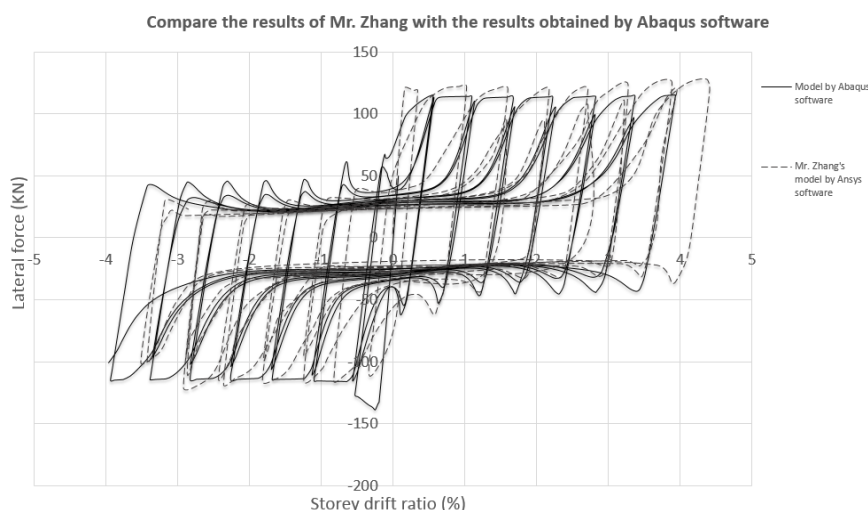


Fig. 2. Validation of the model in ABAQUS software

3. Results and discussion

In Table 1, μ_1 and μ_2 indicate the ductility in the positive and negative range of the hysteresis cycles respectively. The term ' r ' in Table 1, represents the maximum strength of the model.

Table 1. Specifications of studied models

Ductility and strenght	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7	Model 8	Model 9	Model 10	Model 11	Model 12	Model 13	Model 14
μ_1	6.40	6.70	6.50	6.86	7.86	8.77	7.00	6.38	7.48	6.60	6.58	6.78	6.72	6.15
μ_2	7.31	7.66	6.70	7.75	8.21	8.74	7.97	7.79	9.15	7.29	7.58	7.47	7.53	7.36
$r(KN)$	113.79	118.0	118.0	100.73	98.76	108.01	98.15	116.95	103.90	103.39	100.18	116.95	102.32	94.82

4. Conclusions

This study focused on the hysteresis behavior of 14 inverted-V braces and their central gusset plate connections. The conclusions include the following.

- (1) The models with obtuse angles that consisted just one stiffener in the middle of gusset plate, compared to the models with right angle and one middle stiffener were more ductile about 16 percent. Therefore the models with obtuse angle have better ductility than the others.
- (2) In the models with obtuse angles, the sample with the end of bracing member terminated a distance of $2t$ away from the re-entrant corner of the gusset plate ($2t$), had the most strength; while the sample with $2.5t$ was more ductile about 8 percent than the sample with $2t$ which is not considerable, so the sample with $2t$ is the best option recommended to designers.
- (3) To obtain a suitable model in ABAQUS software, the buckling of braces should be considered. Also in the definition of supports, the lower side of brace should have hinge supports and the upper part of the plate should be released in the longitudinal direction.

5. References

- [1] Zhanga, W., Huang, M., Zhanga, Y., Sunb, Y., "Cyclic Behavior Studies on I-section Inverted V-braces and their Gusset Plate Connections", Journal of Constructional Steel Research, 2010, 6, 407-420.
- [2] Astanesh-Asl, A., "Seismic Behavior and Design of Gusset Plates for Braced Frames", Steel Tips, Structural Steel Education Council, Moraga, CA, US, 1998.