



## بررسی تاثیر پارامترهای ورق اتصال بر عملکرد قابهای با مهاربندی همگرا

جواد کاتبی<sup>۱</sup>، مهدی کهریزی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۵/۹، تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۸/۰۱)

### چکیده

بادبندهای همگرا معمولاً برای پایداری قابها در برابر نیروهای جانبی در طراحی لرزه ای مورد استفاده قرار می گیرند. طبق فلسفه طراحی لرزه ای انتظار می رود که سیستم های مهاربندی همگرا تحت زلزله های شدید بتوانند پاسخ غیرارتجاعی پایدار و مداومی از خود نشان دهند. در اینگونه قابها بادبندها به وسیله ورق به تیرها و ستونها متصل می شوند و تغییر شکل غیر الاستیک در زمان تسلیم عضو به صورت کششی و کماتش غیر الاستیک اتفاق می افتد. آزمایشات تجربی جدید نشان می دهند که عملکرد لرزه ای بادبندهای همگرا با طراحی ورق اتصال و با اجازه یافتن ورق اتصال به تسلیم شدن بهبود می یابد. در این پژوهش ضمن بررسی تاثیرات ورق اتصال و تغییرات آنها، مدل اجزاء محدود غیرالاستیک و روشهای آنالیز مورد بررسی قرار گرفته و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه می گردند. موارد مهم در جزئیات قابها شامل تاثیر ورق اتصال بادبند در صلیب اتصال تیر به ستون، شکل و ضخامت ورق اتصال و تجزیه و تحلیل تغییرشکلهای غیر الاستیک می باشد. نتایج پیشنهاد شده باعث بهبود شکل و جزئیات این نوع اتصالات می گردد.

### کلمات کلیدی

قاب فولادی، مهاربندی همگرا، ورق اتصال، روش اجزاء محدود

## Evaluation for effect of Gusset plate parameters on the performance of Convergent Braced Frames

Javad katebi, Mehdi kahrizi

### ABSTRACT

Convergent braces are usually used for stability of frames against lateral forces in seismic design. According to the seismic design philosophy, it's expected that convergent bracing systems could show a non-elastic and steady response under intense earthquakes. In such frames, braces are connected to beams and columns by a plate and non-elastic deformation occurs at the time of yield of the member by tensile and non-elastic buckling. The new experimental tests show that the seismic performance of convergent braces improves by connection plate design and permitting connection plate to yielding.

In this research, the connection plate effects and its changes and also the inelastic finite element model and analysis methods are investigated and compared with experimental results. Important details in frames connection are including the effect of brace plate in rigidity of the column-beam connection, shape and thickness of connection plate and analysis of non-elastic deformations. The proposed results will lead to improve the shape and details of this type of connections.

### KEYWORDS

Steel Frame, Convergent Bracing, Gusset Plate, Finite Element Method.

۱. استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، ایران [jkatebi@tabrizu.ac.ir](mailto:jkatebi@tabrizu.ac.ir)  
۲. کارشناس ارشد مهندسی عمران سازه، دانشگاه تبریز، ایران [mehdi\\_kahrizi@yahoo.com](mailto:mehdi_kahrizi@yahoo.com)



های بسیاری انجام می گیرد که از آن جمله می توان به روش ویتمور [۳] برای طراحی ورق های اتصال تحت بارهای کششی یکنواخت و نیز روش تورنتون [۴] برای تعیین مقاومت فشاری اتصالات با ورق اشاره نمود.

هو و چنگ [۵] طی یک تحقیق آزمایشگاهی و عددی بر روی رفتار کمانشی اتصالات با ورق تحت بارهای فشاری یکنواخت دریافتند که کمانش ورق های نازک تحت باری بسیار پایین تر از باری اتفاق می افتد که با استفاده از روش ویتمور بدست می آید همچنین تحلیل های عددی آنها نشان داد افزایش سختی بین ورق اتصال و بادبند، منجر به افزایش مقاومت کمانشی ورق اتصال می گردد.

یام و چنگ [۶] اثرات ضخامت ورق اتصال، شرایط گیرداری خارج از صفحه بادبند، زاویه بادبند و لنگر های خمشی موجود در اعضای قاب را بر روی رفتار و مقاومت ورق های اتصال تحت بار فشاری مورد بررسی قرار دادند. آنها ملاحظه نمودند ظرفیت فشاری نمونه های ورق اتصال نسبت مستقیم با ضخامتشان دارند و ممان خمشی موجود در تیر و ستون مجاور نمونه های مورد مطالعه اثر چندانی بر ظرفیت فشاری ورق نداشتند. همچنین نتایج بررسی های آنها نشان داد روش پیشنهادی تورنتون برای محاسبه ظرفیت فشاری ورق های اتصال دست بالا و محافظه کارانه است.

جونگ هان یو و همکاران [۷] یک مطالعه پارامتری برای بررسی تاثیر ورق اتصال بر المان های قاب در عملکرد لرزه ای بادبند های همگرا و توسعه مدل های بهبود یافته انجام دادند. در این تحقیق جزئیات قاب از جمله اتصالات تیر به ستون، زاویه بادبند و تغییر شکل های غیر الاستیک نیز بررسی گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که جزئیات مناسب اتصالات می تواند تا حد زیادی در بهبود عملکرد قاب موثر باشد. همچنین آنها با بررسی تحلیلی و پارامتری عنوان کردند که نتایج حاکی از تفاوت در رفتار عملی و پیش بینی رفتار مدل های طراحی شده کنونی بر اساس آیین نامه ها است.

با بررسی اجمالی خسارتهای وارد بر سازه ها در زلزله های گذشته مشخص می شود که سازه های فولادی به جهت شکل پذیری و قابلیت جذب انرژی عملکرد بهتر و اقتصادی تری نسبت به سایر سازه ها دارند. امروزه از سیستم های مختلفی برای مقابله با بارهای جانبی وارد بر ساختمانهای فولادی استفاده می شود که استفاده از سیستم مهاربندی در این ساختمانها قدمت بیشتری نسبت به سایر سیستم های سازه ای دارد.

پس از زلزله سال ۱۹۹۴ نورتریج و بدلیل ضعف هایی که در سیستم قاب های خمشی مشاهده شد، گرایش چشمگیری به استفاده از قاب های فولادی با مهاربندی همگرا به عنوان سیستم های مقاوم در برابر بارهای جانبی ایجاد شد. قابهای مهاربندی شده همگرا بدلیل صرفه جویی در مصرف مصالح و نیز سادگی طراحی و اجرا از محبوبیت زیادی در میان مهندسان سازه برخوردار است و به طور گسترده ای در طراحی لرزه ای سازه ها مورد استفاده قرار می گیرد.

به طور کلی قابهای با مهاربندی همگرا به گونه ای طراحی می شوند که تحت بارهای لرزه ای، انرژی به وسیله کمانش و یا جاری شدن بادبند مستهلک گردد. سایر اعضاء و اتصالات برای تحمل سطح باری طراحی می شوند که منجر به کمانش و جاری شدن بادبند شود. این روش طراحی ناشی از دیدگاه طراحی برای ظرفیت است که در دستورالعمل های مختلف طراحی لرزه ای ساختمان های فولادی مطرح است [۱ و ۲].

ایده استفاده از ورق اتصال برای متصل نمودن اعضای مهاربند به قاب فولادی بهترین ایده ای بود که در ابتدا معرفی شد و تاکنون نیز اصلی ترین روش اتصال مهاربند به قاب است. ورق اتصال مهاربند عضوی صفحه ای است که نیروهای مهاربند را به قاب منتقل می کند. به دلیل پیچیدگی رفتار اتصالات با ورق در قابهای با مهاربندی همگرا، طراحی این گروه از اجزای سازه ای معمولاً با ساده سازی



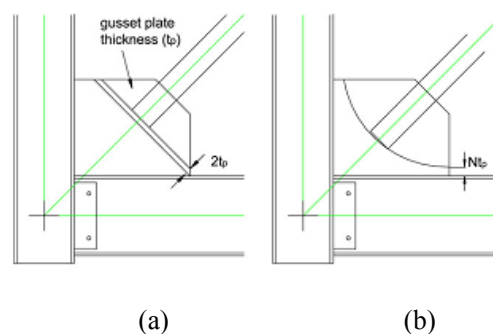
ثانویه (تسلیم ورق اتصال) تاکید می گردد [۱۰]. در حالت خاص افزایش شکل پذیری اتصال در یک جابجایی نسبی بزرگ باعث بهبود رفتار لرزه ای قاب می گردد و می توان در این حالت از بادبند HSS استفاده نمود [۱۱]. با انجام آنالیز اجزاء محدود غیر خطی مدل و انجام شبیه سازی می توان نتایج مکانیزم تسلیم را با مقیاس خوبی بیان نمود [۱۲]. این تحقیقات آزمایشگاهی باعث گسترش و توسعه نظرات طراحی می گردد و به دلیل اینکه با افزایش تعداد آزمایشها هزینه های مربوطه افزایش می یابد، می بایست از روش های آنالیزی و پارامتری استفاده گردد. در این پژوهش خلاصه ای از روشهای پارامتری به منظور بهبود اتصالات ورق بادبند و پیشنهاداتی در مورد طراحی ورق اتصال بیان شده است.

## ۲- شبیه سازی مطالعات آزمایشگاهی و آنالیز مدل

برای بررسی و شبیه سازی (SCBF) و ورق اتصال و نیز به منظور مقایسه آنالیز الاستیک و غیر الاستیک از نرم افزار ABAQUS [ویرایش ۶.۱۱]، که یک نرم افزار شبیه ساز برای سازه می باشد استفاده شده است. این بررسی به منظور مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی و آنالیزی و در جهت گسترش و بهبود نتایج انجام شده است. این آزمایش در دانشگاه واشنگتن برای بررسی کل سیستم قاب بادبندی (SCBF) و رفتار موضعی بادبندها و گاست پلیت انجام شده است [۷]. قاب نمونه در شکل های (a) ۲ و (b) ۲ نشان داده شده است و به صورت یک بادبند در قاب یک دهانه که در طبقات پایین یک سازه کم ارتفاع یا طبقات بالای یک سازه بلند مرتبه می باشد شبیه سازی شده است. کل قاب، همانگونه که در شکل نشان داده شده است، شامل بادبند، تیر بالا و پایین، ورق اتصال و ستونها می باشد. مقاطع بادبند از نوع HSS 5\*5\*3/8، مقاطع تیرها W16\*45 و مقاطع ستونها W12\*72 و از فولاد A992 می باشد اما اتصالات و پارامترهای ورق اتصال در هر بررسی متفاوت و متنوع خواهد بود.

قابهای فولادی دارای مهاربند هم مرکز ویژه (SCBFs) بسیار قوی و مقاوم هستند، به شرط اینکه مشخصات مورد نیاز طراحی لرزه ای را داشته باشند. جابجایی غیر الاستیک در این قابها به وسیله تسلیم کششی و کمانشی بادبندها ایجاد می شود [۸]. بعنوان مثال محدودیت در مورد محل بادبند و لاغری موضعی و کلی بادبندها باعث ایجاد تغییر شکل های پلاستیک و کمانش بادبندها می گردند. برای جلوگیری از تسلیم بادبندها روش طراحی ذکر شده در مرجع [۹] پیشنهاد می گردد. در این مرجع گفته شده که برای جلوگیری از تخریب نابهنگام و شکستگی اتصال، باید ظرفیت باربری محوری ورق اتصال بیش از میزان باربری محوری عضو مهاربند (ظرفیت کششی و فشاری) منظور گردد.

ورق اتصال باید در طول چرخه ای انتهای بادبند در یک بادبند کمانش یافته که در آن نیروهای کششی و فشاری نسبت به ظرفیت بادبند افزایش می یابند را تحمل کند. این روش طراحی میزان (2tp) را پیشنهاد می کند که tp ضخامت ورق می باشد. مانند شکل (a) ۱. وجود جابجایی خطی در ورق های اتصال بزرگ باعث غیر اقتصادی شدن و کاهش پایداری قابها می گردد.



شکل ۱. خط آزاد خمش در کمانش خارج از صفحه. (a) خط آزاد خمش خطی. (b) خط آزاد خمش بیضی

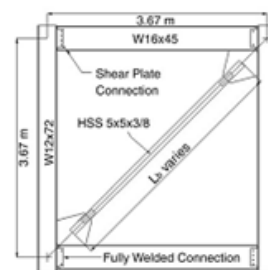
برای بهبود نتایج رفتار لرزه ای این قابها و بهبود طراحی آنها، بر شناسایی ابتدایی مکانیزم تسلیم اولیه (کمانش و تسلیم کششی بادبند) و موازنه کردن آن با مکانیزم تسلیم

بزرگ و مصالح آن از نوع دو خطی در محدوده سخت شدگی پلاستیک در نظر گرفته شده است و نتایج با منحنی تنش و کرنش بدست آمده از آزمایش مقایسه شده است [۱۱]. شکل (b) مشخصات قاب را نمایش می دهد. مرز موقعیت های شبیه سازی شده شامل موارد زیر است: انتهای تیر پایینی دارای درجه آزادی انتقالی است، پایین ستونها دارای اتصالات غلطکی است و از جابجایی خارج صفحه در بالای ستونها جلوگیری بعمل آمده است که برای این منظور در مدل آزمایشگاهی یک تکیه گاه جانبی معرفی شده است. یک المان فنر غیر خطی (COMBIN39) در مدل کردن بولتهای اتصال تیر به ستون (اتصال برشی) معرفی شده است. تمامی جوشها از نوع صلب کامل در نظر گرفته شده است. ابعاد مش ها در حدود  $25 \times 25$  میلی متر در نظر گرفته شده است.

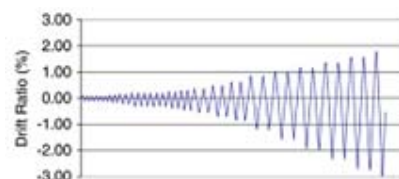
تنوع ایجاد شده در ورق اتصال با توجه به شرایط وجود یا عدم وجود ورق اتصال و مهاربند، نوع اتصال تیر به ستون، ضخامت و شکل ورق می باشد.



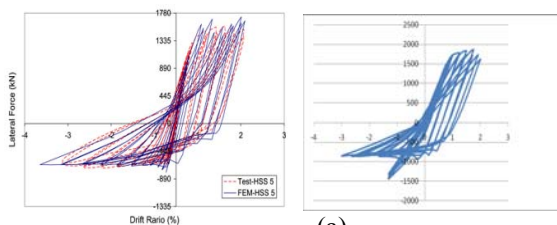
(a)



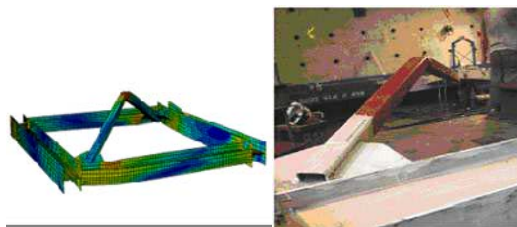
(b)



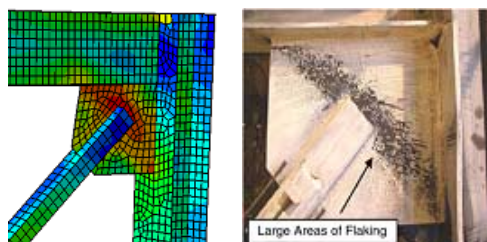
(c)



(a)



(b)



(c)

شکل ۲. نمونه قاب مورد بررسی. (a) مدل آزمایشگاهی قاب. (b) مشخصات قاب. (c) تاریخچه بارگذاری قاب. [۷].

قاب مورد نظر طبق دستورالعمل آزمایش ATC-24 تحت تغییر شکل های چرخه ای قرار می گیرد [۱۳]. این دستورالعمل شامل چرخه های الاستیک برای پایداری سختی و تسلیم اولیه و تغییر شکلهای غیر الاستیک می باشد.

همه اعضاء به صورت المان چهار گره ای توسط المان شل مدل شده اند (Shell 181) که هر گره شش درجه آزادی دارد. المانها شامل غشاء و نرمی و تغییر شکل برشی هستند. برای مدل کردن کماتش المان از تئوری تغییر شکل های

شکل ۳. مقایسه مدل کامپیوتری و مدل آزمایشگاهی  
 (a). نمودار برش پایه- تغییر مکان. (b). تغییر شکل قاب. (c). خط دوران ورق اتصال در کمناش خارج از صفحه.

در شکل ۳ مقایسه مدل کامپیوتری تحت نتایج چرخه ای غیر الاستیک برای همه قاب و ورق اتصال نمایش داده شده است. مطابق مقایسه بعمل آمده نتایج تحلیلی علی الخصوص در ورق اتصال مهاربند، بسیار نزدیک به نتایج بررسی شده محلی اعضاء در آزمایش عملی می باشند و خطایی در حدود ۶ درصد دارد از این رو مدل های تحلیلی قابل اطمینان است. نتایج آزمایشگاهی و آنالیزی به طور ویژه به شرح زیر بررسی می گردند:

- تسلیم محلی و شکست نهایی در مرکز بادبند بدلیل کمناش خارج از صفحه ایجاد می شود، شکل ۳(b).
- تسلیم محلی ورق اتصال و پارگی در محدوده نزدیک به جوش ورق اتصال در زمان تغییر شکل بزرگ و تسلیم محلی در دوران انتهای اتصال در زمان کمناش بادبند ایجاد می شود، شکل ۳(c).
- تسلیم محلی تیر و ستون در نزدیکی اتصال ورق بادبند که وابسته به میزان گیرداری اتصال گاست و ابعاد ورق است رخ می دهد.
- در آنالیز غیر الاستیک، تسلیم، کمناش و تغییر شکل غیر الاستیک مورد بررسی قرار می گیرد اما نمی تواند اطلاعاتی در مورد زمان و مکان ترکهای اولیه، پارگی و تخریب فولاد ارائه نماید اما کرنش پلاستیک  $\epsilon_{eqv}^{pl}$  در آنالیز غیر الاستیک نمایش خوبی از ترک اولیه و تخریب فولاد و جوش ارائه می دهد [۱۲].

شکل ۳. مقایسه مدل کامپیوتری و مدل آزمایشگاهی  
 (a). نمودار برش پایه- تغییر مکان. (b). تغییر شکل قاب. (c). خط دوران ورق اتصال در کمناش خارج از صفحه.

در شکل ۳ مقایسه مدل کامپیوتری تحت نتایج چرخه ای غیر الاستیک برای همه قاب و ورق اتصال نمایش داده شده است. مطابق مقایسه بعمل آمده نتایج تحلیلی علی الخصوص در ورق اتصال مهاربند، بسیار نزدیک به نتایج بررسی شده محلی اعضاء در آزمایش عملی می باشند و خطایی در حدود ۶ درصد دارد از این رو مدل های تحلیلی قابل اطمینان است. نتایج آزمایشگاهی و آنالیزی به طور ویژه به شرح زیر بررسی می گردند:

- تسلیم محلی و شکست نهایی در مرکز بادبند بدلیل کمناش خارج از صفحه ایجاد می شود، شکل ۳(b).
- تسلیم محلی ورق اتصال و پارگی در محدوده نزدیک به جوش ورق اتصال در زمان تغییر شکل بزرگ و تسلیم محلی در دوران انتهای اتصال در زمان کمناش بادبند ایجاد می شود، شکل ۳(c).

- تسلیم محلی تیر و ستون در نزدیکی اتصال ورق بادبند که وابسته به میزان گیرداری اتصال گاست و ابعاد ورق است رخ می دهد.

در آنالیز غیر الاستیک، تسلیم، کمناش و تغییر شکل غیر الاستیک مورد بررسی قرار می گیرد اما نمی تواند اطلاعاتی در مورد زمان و مکان ترکهای اولیه، پارگی و تخریب فولاد ارائه نماید اما کرنش پلاستیک  $\epsilon_{eqv}^{pl}$  در آنالیز غیر الاستیک نمایش خوبی از ترک اولیه و تخریب فولاد و جوش ارائه می دهد [۱۲].

$$\epsilon_{eqv}^{pl} = \frac{1}{\sqrt{2}(1+\nu')} \left[ (\epsilon_x^{pl} - \epsilon_y^{pl})^2 + (\epsilon_y^{pl} - \epsilon_z^{pl})^2 + (\epsilon_z^{pl} - \epsilon_x^{pl})^2 + \frac{2}{3} (\gamma_{xy}^{pl2} + \gamma_{yz}^{pl2} + \gamma_{zx}^{pl2}) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

در این معادله  $\epsilon_x^{pl}$ ,  $\epsilon_y^{pl}$ ,  $\epsilon_{xy}^{pl}$  و غیره عبارات مورد نیاز بررسی کرنش پلاستیک و  $\nu'$  ضریب موثر پواسون است. نشان داده می شود که ترک های اولیه در آستانه و مرز مقدار

### ۳ - معرفی نمونه ها و مطالعه پارامتری

در این قسمت از این پژوهش، ضمن بررسی شرح قبلی روش آنالیز المان محدود و بررسی محدوده تغییرات پارامتر ها، تاثیر ورق اتصال بادبند همگرا بر صلیب جانبی قاب و اتصال تیر به ستون مورد بررسی قرار می گیرد. تغییرات پارامتری شامل تغییرات بادبند و ورق اتصال، تفاوت اتصال تیر به ستون، تاثیر ضخامت ورق اتصال و تاثیر شکل ورق اتصال می شود. این پارامترها در شکل ۴ نشان داده شده اند. در این پژوهش سیستم های مدل سازی شده با سیستم مرجع مقایسه می گردند. قاب مرجع [۷] که شبیه سازی شده است دارای مشخصات زیر می باشد:

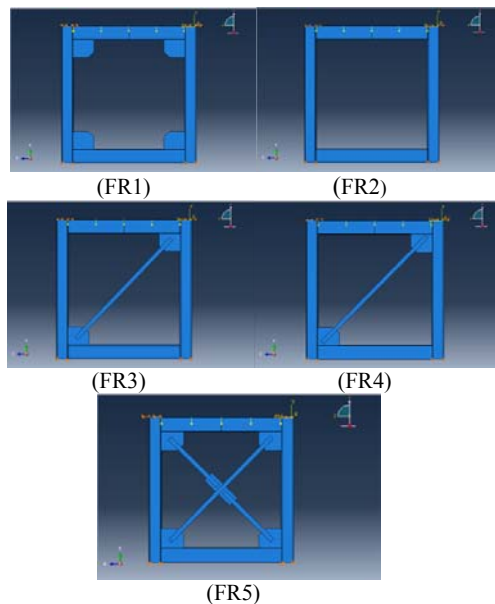
- تیرها W16\*45 و ستونها W12\*72 از فولاد A992
- بادبند HSS 5\*5\*3/8 از نوع A500 با فولاد B/C با زاویه ۴۵ درجه
- ورق اتصال با ضخامت ۹.۵ mm با فولاد A572
- فاصله خط آزاد خمش ورق اتصال ۸tp و طول جوش بادبند به ورق اتصال ۳۷۵ mm است.
- اتصال تیر به ستون با جوش نفوذی کامل اجرا شده است.

پارامترهای مورد بررسی و مقادیر آنها به صورت مجزا در جدول شماره ۲ نشان داده شده اند.

● انتهای تیر پایین دارای درجه آزادی انتقالی است، پایین ستونها دارای اتصالات غلطکی است و از جابجایی خارج صفحه در بالای ستونها جلوگیری بعمل آمده است.

جدول (۲). پارامترهای مورد بررسی در مدل سازی تحلیلی

نوع قاب	ابعاد ورق اتصال (mm)	ضخامت ورق (mm)	مدل خط آزاد خمش	اتصال تیر به ستون
۱	۶۳۳ × ۵۳۵	۹/۵	بیضی ۸ tp	صلب
۲	-	-	-	مفصلی
۳	۶۳۳ × ۵۳۵	۹/۵	بیضی ۸tp	مفصلی
۴	۶۳۳ × ۵۳۵	۹/۵	-	مفصلی
۵	۶۳۳ × ۵۳۵	۹/۵	بیضی ۸tp	مفصلی و صلب
۶	۶۳۳ × ۵۳۵	۹/۵	بیضی ۸tp	مفصلی
۷	۶۳۳ × ۵۳۵	۹/۵	بیضی ۸tp	مفصلی
۸	۶۳۳ × ۵۳۵	۹/۵ و ۲۰	بیضی ۸tp	مفصلی
۹	۶۳۳ × ۵۳۵	۹/۵	خطی ۲tp مخروطی	مفصلی



شکل ۴. اشکال مختلف مدل سازی تحلیلی.

(FR1). قاب بدون مهاربند و ورق اتصال. (FR2). قاب با ورق اتصال و بدون مهاربند. (FR3). قاب با مهاربند قطری و بدون رعایت خط آزاد خمش. (FR4). قاب با مهاربند قطری و با رعایت خط آزاد خمش. (FR5). قاب با مهاربند ضربدری.

بارگذاری چرخه ای اعمال شده به مدل در شکل (c) ۲ نشان داده شده است. مواد و مصالح مصرفی در مدل سازی تحلیلی مطابق با مصالح مصرفی در آزمایش تجربی است. (جدول ۱).

جدول (۱). مشخصات مصالح در قاب مرجع

نوع عضو قاب و نوع فولاد مصرفی	مقاومت تسلیم (MPa)	مقاومت نهایی (MPa)
تیر (A992)	۳۹۵	۵۰۱
ستون (A992)	۴۰۹	۵۲۲
بادبند (A500)	۵۰۵	۵۴۹
ورق (A572)	۴۴۷	۶۰۲

## ۳-۱- تاثیر ورق اتصال بر صلبیت قاب :

در شکل شماره ۵ مقایسه توزیع تنش پلاستیک به صورت المان محدود نشان داده شده است.

شریحی بر تنش سطحی است که به ضخامت فولاد وابسته می باشد. این نتایج در بررسی پارامترهای طراحی بر روی توزیع تنش ورق اتصال و نیز تیرها و ستونهای مجاور ورق اتصال مورد استفاده قرار می گیرد.

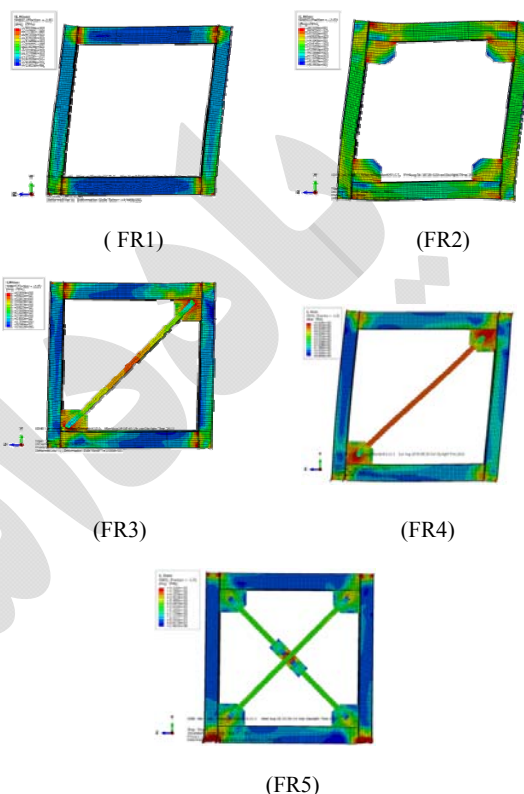
نتایج حاصل از مقایسه آنالیز قابهای مذکور به طور خلاصه به شرح زیر است :

- قاب مدل (FR1) : تکیه گاه های تیر به دلیل عدم وجود مهاربند، دارای لنگر هستند لذا تمرکز تنش حداکثر در جان تیر و در محل اتصال به ستون به وجود آمده است.

- قاب مدل (FR2) : وجود ورق در چهار گوشه قاب سبب ایجاد صلبیت در اتصال تیر به ستون گردیده است و به دلیل جلوگیری این ورقها از دوران تکیه گاه تیر، تمرکز تنش در دورترین گوشه های ورق اتصال و محل انتقال بیشترین نیرو از تیر و ستون به ورق مشاهده می گردد. همچنین در قسمت فشاری جان تیر در مجاورت ورق اتصال نیز تمرکز تنش حداکثر مشهود است. بنابراین گسیختگی این نوع قاب ناشی از کمناش ورق و جاری شدن ورق اتصال و قسمت فشاری جان تیر در مجاورت ورق خواهد بود.

- قاب مدل (FR3) : در این قاب به دلیل طول زیاد مهاربند و پوشش خط آزاد دوران مهاربند در کمناش خارج از صفحه، شکل پذیری قاب کاهش یافته و ورق اتصال قادر به کمناش خارج از صفحه و تغییر شکل های فرا ارتجاعی نیست و به همین دلیل نیروی مهاربند توسط ورق به اتصال منتقل گردیده است. بنا بر این تمرکز تنش حداکثر علاوه بر مهاربند و ورق اتصال، در اتصال نیز بوجود می آید. و گسیختگی قاب ناشی از جاری شدن مهاربند، ورق اتصال و اتصال تیر به ستون خواهد بود.

- قاب مدل (FR4) : در این مدل بدلیل طول کوتاهتر مهاربند و رعایت فاصله خط آزاد خمش خارج از صفحه مهاربند، تنش حداکثر در مهاربند و ورق اتصال متمرکز شده است. لذا در این حالت مهاربند تغییر شکل های فرا ارتجاعی از خود نشان می دهد و سایر قسمتهای قاب در



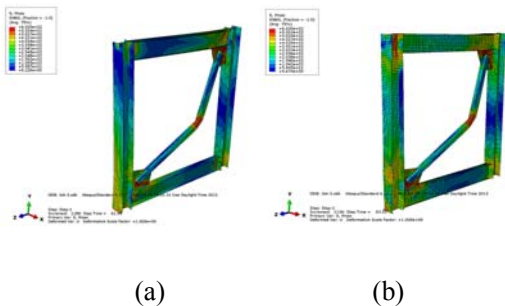
شکل ۵. مقادیر و نحوه توزیع تنش ها (معیار فون میسز)

با توزیع تنش یاد شده در المان های موجود، معادله تنش معادل از رابطه ۲ بدست می آید. این معادله تابع تنش را نشان می دهد.

$$\sigma_{eqv} = \left( \frac{1}{2} \left[ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{zx}^2) \right] \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

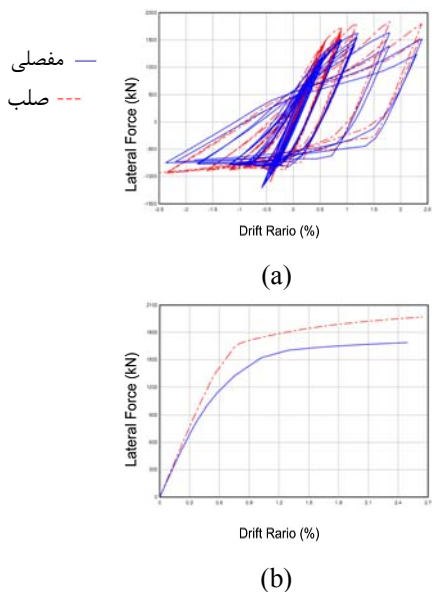
مصالح مورد استفاده مطابق مرجع [۷] می باشد که در آن تنش تسلیم ورق اتصال مطابق رابطه ۲ حدوداً 450MPa، تنش تسلیم در اعضاء قاب حدوداً 400MPa و برای بادبند حدوداً 500MPa است. این نمایش گرافیکی تنش در واقع

حالت اتصال صلب و مفصلی تیر به ستون مقایسه می گردد. (شکل ۶).



شکل ۶. تغییر شکل و نحوه توزیع تنش در قاب. (a) قاب با اتصال مفصلی. (b) قاب با اتصال صلب.

در شکل ۷ مقایسه نتایج حاصل از تحلیل این دو حالت نشان داده شده است. این شکل نشان می دهد بار کششی و فشاری در قاب دارای اتصال مفصلی تیر به ستون تا حد تغییر مکان نسبی ۲.۵ درصد، حدود ۳٪ تا ۸٪ کمتر از حالت مدل مرجع با جوش نفوذی کامل است. همچنین مطابق مشاهدات تغییر شکل قاب و شکست بادبند در هر دو حالت، در تغییر مکان های نسبی مشابه تقریباً یکسان است. این مطالعه نشان داد شکست بادبند در اتصال مفصلی تیر به ستون زودتر از حالت اتصال صلب رخ می دهد.



محدوده ارتجاعی باقی می ماند و عضو مهاربند به خوبی در حکم فیوز سازه عمل می نماید که این موضوع جزء اهداف اجرای مهاربند همگرای ویژه در آیین نامه ها است. - قاب مدل (FR5): در این نوع قاب به دلیل وجود مهاربند ضربدری انتقال نیروها به صورت محوری انجام می شود و تمرکز تنش در گوشه های خارجی قاب و قسمتهای فوقانی و تحتانی ستون است. همچنین در قسمت آزاد ورق اتصال میانی قاب نیز بدلیل تمایل تشکیل لولا و دوران درکمانش خارج از صفحه تمرکز تنش وجود دارد. در سایر قسمتهای قاب تنشهای قابل توجهی وجود ندارد. نتایج حاصل از بررسی و مقایسه این قابها در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول (۳). مقایسه پارامترهای مختلف قاب های مورد مطالعه

ردیف	بررسی مدل مورد مطالعه	نسبت تغییر مکان ۲.۵ درصد	بار کششی (KN/mm)	میزان انرژی قاب (N.mm)	توجه گاه تیر شکل زاویه ای
۱	قاب مدل (FR1)	۰.۸۱	۳۴۰	۳.۷۰۷ E ۸	۰.۰۲۷
۲	قاب مدل (FR2)	۱.۶۳	۹۴۳	۴.۴۲ E ۸	۰.۰۱۴
۳	قاب مدل (FR3)	۶.۰۳	۱۷۶۸	۱.۱۴ E ۹	۰.۰۱۷
۴	قاب مدل (FR4)	۵.۸۹	۱۶۸۹	۲.۳۱ E ۹	۰.۰۱۸
۵	قاب مدل (FR5)	۱۰.۱	۲۰۸۵	۲.۸۶ E ۹	۰.۰۱۱

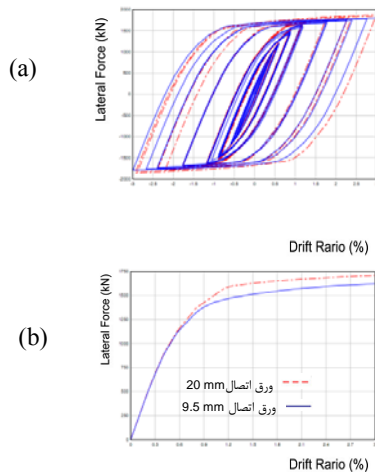
### ۲-۳- تفاوت اتصال تیر به ستون در قاب :

در مدل قاب مرجع از جوش کاملاً نفوذی برای اتصال تیر به ستون استفاده شده است. تعدادی از مهندسين این روش را پیشنهاد می کنند زیرا نیروی محوری از تیر توسط این اتصال به راحتی انتقال می یابد اما استفاده از این دتایل بسیار غیر اقتصادی و مشکل است و به همین دلیل بسیاری مهندسين از اتصال ساده برشی استفاده می کنند در این قسمت به منظور بررسی تفاوت اتصال تیر به ستون در حالت صلب و مفصلی و تغییرات رفتار آنها در قابهای با مهاربندی همگرا، نتایج حاصل از تحلیل مدل مرجع در دو





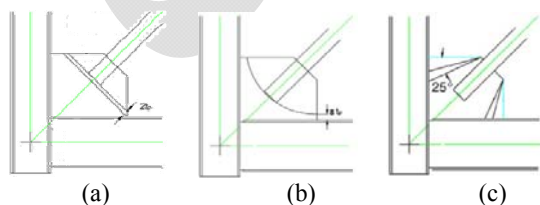
کاهش، طول موثر مهاربند کاهش و ظرفیت کماتش فشاری افزایش می یابد. حداکثر مقاومت فشاری و کششی در ورق اتصال ضخیم تر ۹٪ و ۵٪ بیشتر از مدل مرجع می باشد. با افزایش ضخامت ورق اتصال و افزایش سختی ناحیه اتصال، میزان تغییر شکل زاویه ای تکیه گاه تیر به میزان ۲۵ درصد کاهش می یابد. (شکل ۹).



شکل ۹. مقایسه رفتار قاب با افزایش ضخامت ورق اتصال. (a) نمودار هیستریزیس. (b) نمودار مقاومت قاب.

### ۳-۴ - تاثیر شکل ورق اتصال در قاب :

در ادامه به منظور بررسی تاثیر شکل ورق اتصال بر رفتار قاب مهاربندی شده همگرا، نمونه هایی از قاب دارای ورق اتصال با خط آزاد خمش خطی  $2tp$  و همچنین ورق اتصال مخروطی با ضخامت ثابت مطابق قاب مرجع، آنالیز و با نمونه قاب مرجع که دارای خط آزاد خمش بیضی شکل  $8tp$  است مقایسه می گردد. (شکل ۱۰).

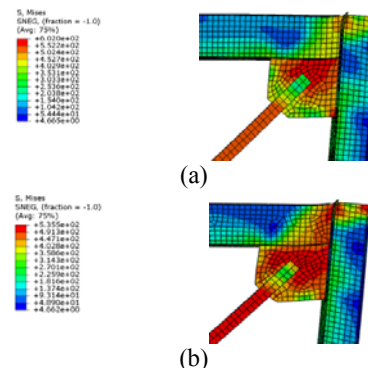


شکل ۱۰ اشکال مختلف ورق اتصال (a) ورق اتصال با خط آزاد خمش خطی. (b) ورق اتصال با خط آزاد خمش بیضی. (c) ورق اتصال مخروطی

شکل ۷). مقایسه نمودار برش پایه - تغییر مکان در دو حالت صلب و مفصلی (a). تحت تغییر شکل های چرخه ای. (b) نمودار مقاومت قاب.

### ۳-۳ - تاثیر ضخامت ورق اتصال در قاب :

اگر چه مقررات طراحی لرزه ای در حال حاضر این پیشنهاد را دارند که کاربرد یک صفحه ضخیم تر در قاب های دارای مهاربند همگرا بهتر است اما مطالعات و تجزیه و تحلیل های قبلی نشان داده اند که صفحات ضخیم تر و بزرگ تر باعث افزایش سختی اتصال و افزایش زودتر تنش در تیر ها و ستون ها شده و بادبند زودتر تخریب می شود. در این قسمت مدل قاب دارای مهاربند قطری با استفاده از ورق اتصال به ضخامت  $20\text{ mm}$  آنالیز گردید و رفتار آن با مدل مرجع دارای ورق اتصال  $9.5\text{ mm}$  مورد مقایسه قرار گرفت. (شکل ۸).



شکل ۸. توزیع تنش در ورق اتصال مهاربند. (a) ورق اتصال با ضخامت  $9.5$  میلیمتر. (b) ورق اتصال با ضخامت  $20$  میلیمتر

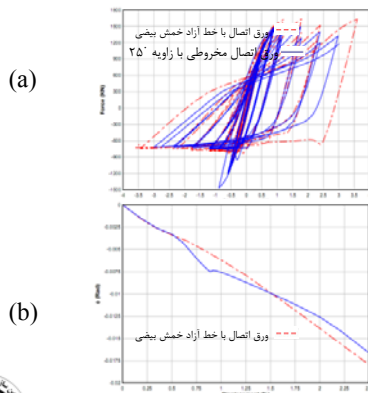
همانگونه که در شکل ۸ مشخص است افزایش ضخامت ورق اتصال تنش ها را کاهش می دهد اما عملکرد غیر الاستیک را افزایش داده و بدلیل سختی اتصال سبب افزایش زودتر تنش در تیر ها و ستون ها می گردد. همچنین ضخیم شدن ورق اتصال به دلیل کاهش تسلیم شدن در ورق اتصال و افزایش سخت شدگی کرنشی بادبند، باعث افزایش پایداری جانبی قاب در عملکرد فشاری و کششی می گردد. با ضخیم کردن ورق اتصال، دوران انتهایی بادبند

شکل ۱۲). نمودار (a). هیستریزس (b). تغییر شکل زاویه ای در ورق های با خط آزاد خمش خطی و بیضی

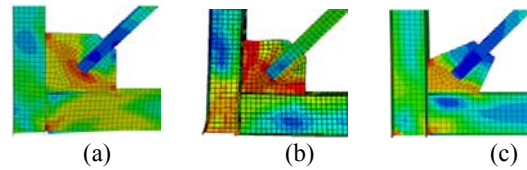
۳-۴-۲- بررسی ورق اتصال چند ضلعی (مخروطی)  
 استفاده از ورق اتصال چند ضلعی (مخروطی) باعث کاهش ابعاد ورق اتصال و کاهش سختی در منطقه انتهای بادبند می گردد. بنابراین رفتار بهتری در اتصال مفصلی دارد. این نوع ورق اتصال از کماتش تیر و ستون جلوگیری کرده و تمایل این نوع ورق برای کماتش بیشتر است. ورق های اتصال چند ضلعی و مخروطی در طراحی ها همانگونه که در شکل ۱۱c نشان داده شده اند بکار برده می شوند و زوایای این چند ضلعی ها از صفر درجه در مدل مرجع تا ۲۵ درجه می باشد.

به طور کلی مقدار مقاومت قاب با ورق اتصال مخروطی شکل کمی کمتر از قابهای با ورق اتصال مستطیلی شکل می باشد. بار نهایی کششی و فشاری قاب با ورق اتصال مخروطی دارای زاویه ۲۵ درجه حدود ۴٪ تا ۶٪ کوچکتر از همان قاب با ورق اتصال چند ضلعی (مستطیلی) است. با توجه به اینکه چند ضلعی کردن ورق اتصال میزان منطقه موثر در برابر تنش های فشاری و کششی را کاهش می دهد لذا گسترش تنش و کرنش در گوشه ورق افزایش می یابد و شروع ترک از گوشه ها خواهد بود.

مطالعات حاکی از این است که شکست بادبند برای ورق اتصال چند ضلعی، در میزان تغییر مکان های نسبی شبیه با ورق های مستطیلی با خط آزاد خمش 8tp رخ می دهد.

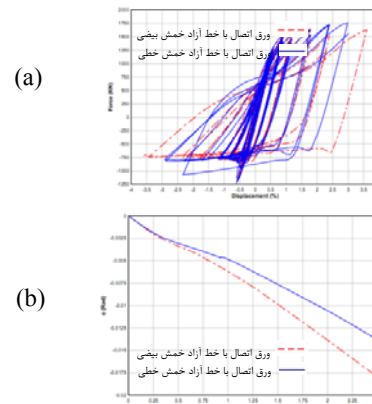


در شکل (۱۱) مقایسه توزیع تنش پلاستیک در ورق های اتصال مهاربند به صورت المان محدود نشان داده شده است.



شکل ۱۱). توزیع تنش پلاستیک در اشکال مختلف ورق اتصال

۳-۴-۱- بررسی ورق اتصال با خط آزاد خمش خطی  
 در طراحی لرزه ای ورق اتصال با خط آزاد خمش خطی به فاصله 2tp، به منظور ایجاد کماتش خارج از صفحه در بارگذاری چرخه ای به ورق اتصال بزرگ و اتصال صلب آن نیاز است در نتیجه ظرفیت تغییر شکل غیر الاستیک کاهش می یابد. شکل a (۱۱). زمانی که از خط آزاد خمش خطی 2tp استفاده می شود تسلیم اصلی در یک خط و روی ورق اتصال ایجاد می گردد و باعث تاخیر در ترک جوشهای اتصال ورق به تیر و ستون می شود. بزرگ بودن و صلبیت ورق اتصال باعث ایجاد تنش در وسط بادبند می شود. آنالیز مدل خطی 2tp و مقایسه با مدل بیضوی نشان می دهد که این مدل تاثیر بسیار کمی در مقاومت نهایی مدل مرجع دارد (حدود ۱ تا ۴ درصد). (شکل ۱۲). مدل بیضوی نیازمند ورق اتصال کوچکتر و شکل پذیر تر است. در این مدل تسلیم ورق اتصال بعد از کماتش بادبند صورت می گیرد. شکل b(۱۱).



جذب انرژی سازه به مقدار ۵۲/۷ درصد افزایش یافت. همچنین مقدار دوران تکیه گاه تیر در حدود ۹/۱ درصد افزایش می یابد که نشانگر افزایش شکل پذیری به دلیل رفتار فرا ارتجاعی مهاربند است.

● تجزیه و تحلیل مدل ها با تغییر در اتصالات تیر به ستون نشان می دهد که اتصالات برشی باعث کاهش اندکی در ظرفیت تغییر شکل و مقاومت سیستم می گردد.

● افزایش ضخامت ورق اتصال باعث افزایش سختی اتصال، کاهش دوران انتهای بادبند، افزایش ظرفیت کماتش فشاری، کاهش تنش در ورق اتصال و افزایش زودرس تنش در تیرها و ستون ها می گردد.

● نمونه طراحی شده با خط آزاد خمش بیضوی عملکرد بهتری نسبت به خط آزاد خمش خطی 2tp دارد زیرا مدل بیضوی نیازمند ورق اتصال کوچکتر بوده و به تبع آن تنش محلی در تیرها و ستونها کاهش می یابد در این مدل تسلیم ورق اتصال بعد از کماتش بادبند صورت می گیرد.

● در قاب با ورق اتصال مخروطی، شکست بادبند در دریافت های مشابه با قاب دارای ورق اتصال چند ضلعی رخ می دهد. در ورق های اتصال مخروطی میزان تنش محلی در تیرها و ستونهای کنار ورق اتصال کاهش می یابد همچنین استفاده از ورق اتصال چند ضلعی (مخروطی) باعث کاهش ابعاد ورق اتصال و کاهش سختی در منطقه انتهای بادبند می گردد بنابراین رفتار بهتری در اتصال مفصلی دارد.

به منظور ارائه جزئیات بیشتر و دقیق تر در این خصوص، پیشنهاد می گردد انجام مطالعات آزمایشگاهی و بررسی های بیشتر بر روی نمونه های گوناگون این نوع قابها انجام گردد.

## مراجع

1- AISC. 2005a. Specification for Structural Steel Buildings. Chicago: American Institute of Steel Construction ( free download at [www.aisc.org](http://www.aisc.org)).

شکل ۱۳). (a). نمودار هیستریزیس. (b). تغییر شکل زاویه ای در ورق با خط آزاد خمش بیضی و ورق اتصال مخروطی ورق اتصال مخروطی در تغییر مکان نسبی قاب از ۰/۵۵٪ تا حدود ۱/۵٪ دارای تغییر شکل زاویه ای بیشتری نسبت به مدل بیضی است و از این مقدار به بعد سبب ایجاد تغییر شکل زاویه ای کمتری در محل اتصال تیر به ستون می گردد به نحوی که در مدل ورق اتصال مخروطی، میزان دوران انتهای تیر در محل اتصال به ستون و در تغییر مکان نسبی ۲/۵ درصد حدود ۷/۵ درصد کمتر از مدل با خط آزاد خمش بیضی شکل است. (شکل ۱۳).

## ۴- نتیجه گیری :

در بخش های قبل با استفاده از اعتبار روش آنالیز اجزاء محدود، یکسری شبیه سازی به منظور بررسی تاثیر ضخامت و شکل ورق اتصال مهاربند در قاب دارای مهاربند همگرا با تغییر در پارامترها و اجزاء قاب انجام گردید در این بخش برخی دستاوردهای قابل طرح در محدوده مطالعات انجام یافته در این پژوهش به صورت خلاصه ارائه می شود :

● مدل اجزاء محدود یک قاب با مهاربندی همگرا بر اساس کار محققان قبلی تهیه و بر اساس آن اعتبار سنجی شد. مدل تحلیلی به خوبی بار کماتشی و کاهش ظرفیت فشاری پس کماتشی را تحت اثر بارهای چرخه ای شبیه سازی نمود و با تطبیق بسیار خوبی همراه بود.

● با افزودن ورق اتصال بادبند به گوشه های قاب، سختی جانبی ۳۰ درصد افزایش می یابد، تغییر شکل زاویه ای اتصالات قاب در حدود ۵۰ درصد کاهش یافته و شکل پذیری و جذب انرژی قاب به میزان ۵۵ درصد کاهش می یابد. بنابراین فرض اتصال ساده میان تیر و ستون در طراحی قابهای با مهاربندی همگرا صحیح نیست و بخشی از سختی جانبی قاب بدلیل صلبیت اتصال تیر و ستون می باشد.

● با تغییر جزئیات قاب دارای مهاربندی قطری معمولی به ویژه، و فراهم شدن شرایط آزادی کماتش خارج از صفحه مهاربند، سختی قاب به میزان ۳/۸ درصد کاهش داشت. اما



2- AISC. 2005c. Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. Chicago: American Institute of Steel Construction ( free download at [www.aisc.org](http://www.aisc.org)).

3- Astaneh-Asl, A. 1998. “ Seismic Behavior and Design of Gusset Plate in Steel Technical Information and Product Services ” (Steel TIPS) report. Moraga, CA: Structural Steel Educational Council ([www.steeltips.org](http://www.steeltips.org)).

4- Thornton, W.A. 1984. “ Bracing connections for heavy construction”. AISC Engineering Journal, 21(3):139-148.

5- Walbrids, S.S., Grondin, G.Y., and Cheng, J.J.R. 1998. “ An analysis of the cyclic behavior of steel gusset plate connections ”. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alta. Structural Engineering Report no.194.

6 - Yam, M.C.H., and Cheng, J.J.R. 1993. “Experimental investigation of the compressive behavior of gusset plate connections ”. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alta. Structural Engineering Report no.194.

7- Jung-Han Yoo, Dawn E. Lehman, Charles W. Roeder. 2008. “Influence of connection design parameters on the seismic performance of braced frames”. J. Constr. Steel Res 64. 607-623.

8- AISC. Manual of steel construction load and resistance factor design. 3rd ed. Chicago (IL): American Institute of Steel Construction; 2001.

9- Thornton WA. On the analysis and design of bracing connections. In: Proceedings of national steel construction conference. Chicago (IL): AISC; 1991. p. 1-33. Section 26.

10- Roeder C, Lehman D, Yoo JH. Improved design of steel frame connections. International Journal of Steel Structures 2005;141-53.

11- Lehman DE, Roeder CW, Herman D, Johnson S, Kotulka B. Improved seismic performance of gusset plate connections, ASCE Journal of Structural Engineering 2008, Vol. 134, No. 6, pp. 890-901.

12- Yoo JH, Roeder C, Lehman D. Analytical Performance Simulation of Special Concentrically Braced Frames, ASCE Journal of Structural Engineering 2008, Vol. 134, No. 6, pp. 881-889 .

13- ATC 24. Guidelines for cyclic seismic testing of components of steel structures. Applied Technology Council; 1992.

