

# بهبود عملکرد لرزه ای قاب مهاربندی شده

بررسی راهکارهای عملی با هدف ارتقای عملکرد قاب های مهاربندی شده

گزارش پیش رو در جهت انتشار مناسب قسمتی از تحقیقات صورت گرفته در اثنای بازنگری دفترچه جزئیات اتصالات مهاربندهای همگرا (دستورالعمل شماره ۴۲-۱۰۲۸۹/۲) تهیه و تنظیم گردیده است. این گزارش در دو بخش کلی مشتمل بر ۷ فصل می باشد. در بخش اول ارتقای عملکرد قاب لرزه ای با مطالعه بر روی رفتار لرزه ای عضو مهاربند مورد نظر قرار گرفته است و در بخش دوم ارتقای عملکرد لرزه ای با بررسی رفتار اتصالات قاب مهاربندی شده مورد بررسی قرار گرفته است. در هر یک از بخش ها با بررسی جامعی از مطالعاتی که تا کنون صورت گرفته، راهکارهای عملی و توصیه هایی جهت بهبود عملکرد قاب مهاربندی شده ارائه گردیده است.

مهرداد زارع – علیرضا مهدیزاده





بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## بسمه تعالی

واحد مقاومت سازی سازمان نوسازی مدارس کشور

# بهبود عملکرد لریزه ای قاب مهاربندی شده

بررسی راهکارهای عملی با هدف ارتقای عملکرد قاب های مهاربندی شده

مهرداد زارع - علیرضا مهدیزاده

زمستان ۱۳۸۹

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به سازمان نوسازی توسعه و تجهیز مدارس کشور بوده و هر گونه استفاده تجاری از این اثر ممنوع می باشد. تکثیر این اثر با حفظ شناسنامه آن، بدون بهره برداری مادی بلامانع خواهد بود.



## پیشگفتار مولفین

استفاده از قاب مهاربندی شده به اوایل قرن ۱۹ برای مقابله با نیروی جانبی باد باز می‌گردد. این سیستم با ایجاد نیروی محوری زیاد در اعضای مشخص در برابر بارهای جانبی مقاومت می‌کند. این قاب‌ها به دلیل صرفه جویی در مصرف مصالح و سادگی طراحی و اجرا از محبوبیت بالایی در میان مهندسان سازه برخوردار است و به طور گسترده‌ای در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با وجود تحقیقات گسترده‌ای که طی سال‌های گذشته بر روی این نوع از قاب‌ها صورت گرفته است، قاب‌های مهاربندی شده هم‌چنان ضعف‌هایی در زلزله‌های گذشته از خود نشان داده‌اند. کنده شدن ورق اتصال از تیر و ستون یا مهاربند و یا پارگی و شکست در عضو مهاربند از متداول‌ترین خساراتی است که در این گونه از قاب‌ها مشاهده می‌گردد. لذا طی سال‌های گذشته آزمایش‌های گسترده‌ای توسط کشورهای پیش‌تاز علوم مهندسی بر روی قاب‌های مهاربندی شده صورت گرفت که در نتیجه آن تحولات بنیادی در نحوه طراحی و اجرای این گونه قاب‌ها ایجاد شد. قسمتی از این تغییرات به نحوه طراحی قاب‌ها مهاربندی و قسمت دیگر از آنها به روش‌های طراحی اتصالات باز می‌گردد. این تغییرات به طور اساسی در ضوابط طراحی لرزه‌ای آیین‌نامه **AISC-2005** خود را نشان داد. واحد مقاوم سازی سازمان نوسازی و ویرایش اول دفترچه جزئیات اتصالات مهاربند همگرا را در تاریخ ۱۳۸۹/۱/۱۴ با هدف ترویج و گسترش رعایت ضوابط موجود در ضوابط طراحی لرزه‌ای آیین‌نامه **AISC-2005** تهیه و منتشر نمود.

با بازخوردی که در استفاده از ویرایش اول دفترچه جزئیات اتصالات مهاربند، از کاربران آن به دست آمد، جدی‌ترین مسئله در استفاده از این دفترچه، بعد جوش زیاد به کار رفته در ویرایش اول آن بود. به گونه‌ای که بعد جوش به کار رفته در طراحی ابعاد ورق‌ها تا ۱۵ میلیمتر افزایش می‌یافت. لذا تصمیم بر آن شد تا در ویرایش دوم دفترچه، بعد جوش اتصالات مهاربند با ملحوظ نمودن محدودیت‌های کارگاهی در طراحی ابعاد ورق‌ها منظور گردد.

هم‌زمان با آغاز بازنگری دفترچه جزئیات اتصالات بررسی گسترده‌ای به منظور ارتقای عملکرد قاب‌های مهاربندی صورت گرفت، این تحقیقات در چند زمینه کلی به صورت زیر تقسیم بندی شد که منجر به تغییرات اساسی در ویرایش اول دفترچه گردید.

۱. بررسی راهکارهای افزایش شکل‌پذیری عضو مهاربند در بارگذاری چرخه‌ای
۲. بررسی لزوم رعایت خط آزاد خمش عمود بر محور مهاربند
۳. بررسی نحوه طراحی و عملکرد مهاربندهای گیردار

گزارش پیش رو در جهت انتشار مناسب قسمتی از تحقیقات صورت گرفته در اثنای بازنگری دفترچه جزئیات اتصالات مهاربندهای همگرا (دستورالعمل شماره ۴۲-۱۰۲۸۹/۲) تهیه و تنظیم گردیده است. تهیه کنندگان آن امیدوارند با مطالعه این گزارش نقطه ابهامی در نحوه تنظیم دفترچه جزئیات و نحوه تعیین ابعاد و اندازه ها برای کارشناسان باقی نماند.

علیرغم سعی و تلاش فراوانی که در تهیه مجلد حاضر صورت گرفته است، تهیه کنندگان، مجموعه حاضر را عاری از عیب نمی دانند. پیشاپیش از کاربران این مجموعه به خاطر قصور احتمالی موجود در آن عذر خواهی نموده و از ایشان تقاضامندیم تا با ارائه نقطه نظرات و پیشنهادات خود ما را در بهبود این مجموعه یاری نمایند.

**مهرداد زارع - علیرضا مهدیزاده**

## فهرست عناوین

<b>بخش اول</b>	<b>۱</b>
<b>۱- مکانیزم عملکرد قابهای بادبندی</b>	<b>۲</b>
1.1 مقدمه:	۲
1.2 رفتار نیرو- تغییر شکل بادبند	۴
۳.۱ حالات رفتاری عضو بادبندی	۶
۱.۳.۱ رفتار کاهش مقاومت فشاری	۶
۲.۳.۱ رفتار کمانشی	۶
۳.۳.۱ رفتار گسیختگی عضو بادبندی	۷
1.4 کمانش موضعی	۹
<b>2- بررسی رفتار بادبند های با مقطع H,I</b>	<b>۱۳</b>
۱.۲ پیشینه تحقیقات در خصوص رفتار بادبند های H,I	۱۳
۲.۲ مرور کلی تحقیقات انجام شده	۱۳
۳.۲ مطالعات Popov و Black در سال ۱۹۸۰ بر روی مقاطع گوناگون تحت بارگذاری چرخه ای	۱۵
۴.۲ مطالعات Goel و Gugerli در سال ۱۹۸۲ بر روی مقاطع I شکل دوسرگیردار:	۲۰
۵.۲ مطالعات Kanvinde در سال ۲۰۰۶ بر روی مقاطع بادبندی دوسر مفصل:	۲۲
۶.۲ بررسی رفتار نمونه های بادبندی تحت بارگذاری محوری چرخه ای توسط Bunzo Tsuji	۲۳
2.6.1 رفتار نمونه های بال پهن	۲۳
۲.۶.۲ رفتار نمونه های با مقطع مستطیلی توپر	۲۹
۷.۲ مطالعات آقایان Tsuji و Nishino بر روی نمونه های قابی و بادبند های با مقطع بال پهن	۳۰
۸.۲ مطالعات آقایان Takahashi Yasuhiko و Nakamura Noriyoshi و Kato Ben تحت سرپرستی دانشگاه توکیو	۳۲
۹.۲ مطالعات Atsuo Tanaka در سال ۱۹۸۹ بر روی چهار نوع اتصال گاست مقطع بال پهن	۴۰
۱۰.۲ رفتار نمونه های مشابه I شکل در بندهای ۳.۲ تا ۹.۲	۴۵
۱۱.۲ نتیجه گیری از رفتار مقاطع نوردیده H و I شکل	۴۷
<b>3- رفتار بادبند های با مقطع دوبر ناودانی لب به لب</b>	<b>۵۰</b>

3.1	مقدمه ۵۰
3.2	نمونه های دوسر مفصل ..... ۵۱
3.3	نمونه های دوسر گیردار با لقمه های جوشی ..... ۵۳
3.4	نمونه های دوسر گیردار با ورق لقمه ای و جوش ..... ۵۷
۱.۴.۳	نمونه ی P9 ..... ۵۷
۲.۴.۳	نمونه ی POES ..... ۵۹
۳.۴.۳	نمونه ی POEL ..... ۶۰
۴.۴.۳	نمونه ی POQ ..... ۶۱
۵.۴.۳	نمونه ی POC ..... ۶۳
۵.۳	مقایسه ی رفتار نمونه های دوسرگیردار با ورق لقمه و جوش ..... ۶۴
3.6	مقایسه ی رفتار چرخه ای ..... ۶۵
3.7	مقایسه ی نتایج حاصله با ضوابط دستورالعمل ها لرزه ای ..... ۶۷
3.8	نتیجه گیری از رفتار دوبل ناودانی ها و پیشنهادات ..... ۶۹
<b>۷۳</b>	<b>بخش دوم</b> .....
<b>۷۴</b>	<b>۴-پیشینه تحقیقات در زمینه ورق های اتصال</b> .....
۱.۴	مقدمه ..... ۷۴
۲.۴	ظرفیت کششی و فشاری ورق مهاربند ..... ۷۴
۳.۴	کمانش لبه آزاد ورق مهاربند ..... ۷۸
۴.۴	نگارنده ..... ۸۱
۵.۴	بررسی مهاربند تحت بارگذاری چرخه ای ..... ۸۲
<b>۸۵</b>	<b>۵-خط آزاد خمشی ورق اتصال، خط مستقیم عمود بر محور مهاربند</b> .....
<b>۸۸</b>	<b>۶-رویکردهای جدید در طراحی اتصالات</b> .....
۱.۶	مفاهیم اولیه در رویکرد های جدید طراحی اتصالات ..... ۸۸
۲.۶	بررسی اجزای اتصالات قاب مهاربندی با رویکرد جدید ..... ۸۹
۳.۶	نگارنده ..... ۹۷
<b>۱۰۰</b>	<b>۷-تبیین روش طراحی مورد استفاده در دفترچه طراحی اتصالات</b> .....

- 
- 7.1 کنترل تاخیر برشی در محل اتصال مهاربند به ورق اتصال ..... ۱۰۱
- 7.2 کنترل برش قالبی در مهاربند ..... ۱۰۱
- 7.3 کنترل برش قالبی در ورق اتصال ..... ۱۰۲
- ۴.۷ تعیین ابعاد ورق اتصال ..... ۱۰۲
- 7.5 کنترل مقطع موثر گاست در کشش (عرض ویتمور) ..... ۱۰۳
- 7.6 کنترل مقطع موثر ورق اتصال در فشار ..... ۱۰۳
- 7.7 کنترل کمانش لبه آزاد ورق اتصال ..... ۱۰۴
- ۸.۷ تامین خط آزاد خمش ورق اتصال ..... ۱۰۵



## فهرست اشکال

- شکل ۱: شکست های نامطلوب در سازه های با قاب بادبندی شده ..... ۳
- شکل ۲: مراحل رفتاری عضو بادبندی در چرخه اول بارگذاری ..... ۴
- شکل ۳: رفتار نیرو- تغییرشکل محوری آزمایشگاهی یک عضو بادبندی تحت بارگذاری چرخه ای ..... ۵
- شکل ۴: حالات گسیختگی در بادبند (a) خرابی ورق اتصال انتهائی(گاست) در اثر عدم طراحی صحیح(نامطلوب) (b) گسیختگی در محل مفصل پلاستیک(مطلوب) ..... ۷
- شکل ۵: اثر ضریب لاغری عضو بادبندی ( $\lambda$ ) بر اتلاف انرژی(نتایج آزمایشگاهی) ..... ۸
- شکل ۶: اثر ضریب لاغری عضو بادبندی ( $\lambda$ ) بر اتلاف انرژی(مدلهای تئوری) ..... ۹
- شکل ۷: اثر نسبت عرض به ضخامت عضو بادبندی (b/t) بر شکلپذیری عضو ..... ۹
- شکل ۸: ترتیب رخدادها در طی بارگذاری چرخه ای یک عضو بادبندی ..... ۱۰
- شکل ۹: مراحل گسیختگی عضو بادبندی قوطی شکل در بارگذاری چرخه ای: (a)کمانش کلی عضو (b) کمانش موضعی ..... ۱۱
- شکل ۱۰: لحظه ی رخداد کمانش موضعی و ازدیاد کرنش های پلاستیک در مطالعات تحلیلی ..... ۱۱
- شکل ۱۱: نحوه ی رخداد کمانش موضعی در عضو بادبندی با مقطع I شکل ..... ۱۲
- شکل ۱۲: مراحل گسیختگی عضو بادبندی I شکل تحت بارگذاری چرخه ای: (a) کمانش موضعی (b) آغاز پارگی ناشی از ازدیاد کرنش موضعی (c) گسیختگی کامل عضو ..... ۱۲
- شکل ۱۳: رفتار چرخه ای نمونه های آزمایش شده تحت بارگذاری چرخه ای در گزارش UCB/EERC80-40 ..... ۱۸
- شکل ۱۴: مقایسه ی شکل پذیری در فشار بهدست آمده از آزمایش با شکل پذیری نظیر حد آستانه ی فروریزش در Fema356 ..... ۱۹
- شکل ۱۵: مقایسه ی شکل پذیری در کشش بهدست آمده از آزمایش با شکل پذیری نظیر حد آستانه ی فروریزش در Fema356 ..... ۱۹
- شکل ۱۶: مقایسه شکل پذیری فشاری بدست آمده از آزمایش UMEE82R1 با شکل پذیری نظیر حد آستانه فروریزش در Fema356 ..... ۲۱
- شکل ۱۷: مقایسه شکل پذیری کششی بدست آمده از آزمایش UMEE82R1 با شکل پذیری نظیر حد آستانه فروریزش در Fema356 ..... ۲۱
- شکل ۱۸: اثر لاغری بر شکل پذیری نمونه های آزمایش UMEE82R1 ..... ۲۲
- شکل ۱۹: اثر نسبت عرض به ضخامت (b/2tf) بر شکل پذیری نمونه های آزمایش UMEE82R1 ..... ۲۲
- شکل ۲۰: رفتار چرخه ای Specimen W1 ..... ۲۳

- شکل ۲۱ : دتایل نمونه های بادبندی با مقطع بال پهن..... ۲۴
- شکل ۲۲ : اثر نسبت عرض به ضخامت بر رفتار چرخه ای نمونه های بادبندی چاق ( $\lambda=30$ )..... ۲۵
- شکل ۲۳ : اثر نسبت عرض به ضخامت بر شکل پذیری عضو بادبندی بال پهن با لاغری ثابت ( $\lambda=30$ )..... ۲۶
- شکل ۲۴ : رفتار نمونه های بادبندی با مقطع بال پهن با  $b/t=6.0$  و لاغری متغیر..... ۲۷
- شکل ۲۵ : رفتار نمونه های بادبندی با مقطع بال پهن با  $b/t=8.0$  و لاغری متغیر..... ۲۸
- شکل ۲۶ : اثر لاغری بر شکل پذیری عضو بادبندی بال پهن..... ۲۸
- شکل ۲۷ : رفتار چرخه ای نمونه های بادبندی با مقطع مستطیلی توپر..... ۲۹
- شکل ۲۸ : اثر لاغری بر شکل پذیری عضو بادبندی با مقطع مستطیلی توپر..... ۳۰
- شکل ۲۹ : شمای قاب های آزمایش شده توسط Nishinu, Tsuji..... ۳۱
- شکل ۳۰ : مقایسه ی تغییر شکل قائم دو نوع قاب آزمایش شده..... ۳۱
- شکل ۳۱ : رفتار چرخه ای نمونه های بادبند بال پهن در دو قاب مختلف..... ۳۲
- شکل ۳۲ : شمائی از نمونه های آزمایش شده توسط Kato Ben و همکارانش..... ۳۳
- شکل ۳۳ : جزئیات اتصال گاست در نمونه های قابی تحت آزمایش..... ۳۳
- شکل ۳۴ : تاریخچه ی بارگذاری نمونه ها..... ۳۵
- شکل ۳۵ : اثر نسبت عرض به ضخامت بر باربری و شکل پذیری قاب های بادبندی شده با لاغری بادبند ثابت ( $\lambda=40$ )..... ۳۵
- شکل ۳۶ : اثر نسبت عرض به ضخامت بر باربری و شکل پذیری قاب های بادبندی شده با لاغری بادبند ثابت ( $\lambda=60$ )..... ۳۶
- شکل ۳۷ : اثر ضریب لاغری بر باربری و شکل پذیری قاب های بادبندی شده با سایر پارامترهای ثابت..... ۳۷
- شکل ۳۸ : اثر نوع اتصال بر باربری و شکل پذیری قاب های بادبندی شده..... ۳۷
- شکل ۳۹ : (a) اثر نوع اتصال بر رفتار قاب (b) اثر لاغری بر رفتار قاب (c) اثر نسبت عرض به ضخامت بر رفتار قاب..... ۳۹
- شکل ۴۰ : (a) خرابی در محل کمانش موضعی (b) گسیختگی اتصال در نمونه های با دبل گاست..... ۳۹
- شکل ۴۱ : دتایل اتصالات آزمایش شده توسط Atsou Tanaka..... ۴۰
- شکل ۴۲ : دتایل سه بعدی اتصال نوع Fixed End Gusset connection..... ۴۱
- شکل ۴۳ : دتایل سه بعدی اتصال نوع Composite end Gusset connection..... ۴۱
- شکل ۴۴ : دتایل سه بعدی اتصال نوع Simple end Gusset connection..... ۴۱
- شکل ۴۵ : دتایل سه بعدی اتصال استفاده شده توسط chen برای مقاطع بالپهن..... ۴۲
- شکل ۴۶ : دستگاه بارگذاری نمونه های اتصال بادبند و گاست..... ۴۲
- شکل ۴۷ : دتایل ۴ گروه نمونه ی آزمایش شده..... ۴۳

- شکل ۴۸ : مقایسه ی رفتار نمونه های HS-J و HW-J تحت بارگذاری کششی یک طرفه..... ۴۳
- شکل ۴۹ : مقایسه ی رفتار نمونه های HS-J-1 و HW-J-1 تحت بارگذاری فشاری یکطرفه..... ۴۴
- شکل ۵۰ : مقایسه ی رفتار نمونه های HS-J-1-2 و HS-J-4-2 تحت بارگذاری چرخه های..... ۴۴
- شکل ۵۱ : مقایسه رفتار فشاری نمونه های شبه I شکل تحقیقات بررسی شده در بند ۳.۲ تا ۹.۲..... ۴۶
- شکل ۵۲ : مقایسه رفتار کششی نمونه های شبه I شکل تحقیقات بررسی شده در بند ۳.۲ تا ۹.۲..... ۴۶
- شکل ۵۳ : اثر ضریب لاغری بر شکل پذیری فشاری نمونه های شبه I شکل بررسی شده در بند ۳.۲ تا ۹.۲..... ۴۷
- شکل ۵۴ : نحوه محاسبه جوش اتصال بادبند به گاست شکل ۵۵ : رعایت نمودن فاصله آزاد 2tp در گاست..... ۵۱
- شکل ۵۶ : مقایسه انرژی اتلافی چرخه ای نمونه های دوسر مفصل..... ۵۲
- شکل ۵۷ : مقایسه بار کمانش چرخه ای نمونه های دوسر مفصل..... ۵۳
- شکل ۵۸ : جزئیات اجرائی نمونه F9H..... ۵۴
- شکل ۵۹ : جزئیات اجرائی نمونه F0H..... ۵۵
- شکل ۶۰ : جزئیات اجرائی اتصال گیردار بادبند به گاست..... ۵۵
- شکل ۶۱ : مقایسه رفتار نمونه های دوسر گیردار با لقمه های جوشی از نظر انرژی اتلافی..... ۵۶
- شکل ۶۲ : مقایسه رفتار نمونه های دوسر گیردار با لقمه های جوشی از نظر بار کمانشی..... ۵۷
- شکل ۶۳ : جزئیات اجرائی نمونه P9..... ۵۸
- شکل ۶۴ : رخداد اعوجاج بسمت خارج در نمونه های F9H, F4H, F6H..... ۵۹
- شکل ۶۵ : استفاده از ورق لقمه ای برای کاهش اعوجاج بسمت خارج بال های ناودانی..... ۵۹
- شکل ۶۶ : مقایسه نمونه های F9H, P9 از نظر انرژی اتلافی..... ۵۹
- شکل ۶۷ : جزئیات اجرائی نمونه POES..... ۶۰
- شکل ۶۸ : جزئیات اجرائی نمونه POEL..... ۶۱
- شکل ۶۹ : جزئیات اجرائی نمونه POQ..... ۶۲
- شکل ۷۰ : جزئیات قطع ورق لقمه ای و جوش در نقطه یک چهارم طول عضو در نمونه POQ..... ۶۲
- شکل ۷۱ : جزئیات اجرائی گاست در نمونه POQ..... ۶۳
- شکل ۷۲ : جزئیات اجرائی نمونه POC..... ۶۴
- شکل ۷۳ : مقایسه رفتار نمونه های دوسرگیردار دارای ورق لقمه همراه با جوش از نظر انرژی اتلافی..... ۶۵
- شکل ۷۴ : مقایسه رفتار نمونه های دوسرگیردار دارای ورق لقمه همراه با جوش از نظر نیروی کمانش چرخه ای..... ۶۵
- شکل ۷۵ : رفتار نیرو-تغییر شکل بادبندهای دابل ناودانی دوسر مفصل..... ۶۶

- شکل ۷۶: رفتار بادبندهای دوبل ناودانی دوسرگیردار با لقمه‌های جوشی ..... ۶۶
- شکل ۷۷: رفتار بادبندهای دوسرگیردار با ورق لقمه‌های به همراه جوش ..... ۶۷
- شکل ۷۸: مقایسه شکلپذیری بادبندهای با مقطع دوبل ناودانی لب به لب با حدود آستانه فروریزش دستورالعمل fema356 ..... ۶۸
- شکل ۷۹: مقایسه انرژی اتلافی بین تمامی بادبندهای دوبل ناودانی آزمایش شده ..... ۶۸
- شکل ۸۰: دتایل پیشنهادی اجرائی برای نمونه‌های دوسرگیردار با ورق بال جوشی ..... ۷۱
- شکل ۸۱: الزامات جوش ورق‌های لقمه‌ای بال ناودانی ..... ۷۱
- شکل ۸۲: بهترین و کاراترین دتایل اجرائی برای بادبندهای با مقطع دوبل ناودانی لب به لب دوسرگیردار ..... ۷۲
- شکل ۸۳: طول مشخصه نوار واحد به منظور محاسبه ظرفیت فشاری ورق ..... ۷۵
- شکل ۸۴: نمونه‌ای از کمانش ورق اتصال مهاربند در تحلیل‌های المان محدود ..... ۷۵
- شکل ۸۵: دقت رابطه تورنتون در پیش‌بینی کمانش ورق اتصال ..... ۷۶
- شکل ۸۶: دقت رابطه تورنتون اصلاح شده در پیش‌بینی کمانش ورق اتصال ..... ۷۷
- شکل ۸۷: محاسبه ابعاد ورق اتصال مهاربند در روش بار یکنواخت ..... ۷۷
- شکل ۸۸: کمانش ورق مهاربند در بادبندها در محل اتصال به تیر ..... ۷۸
- شکل ۸۹: کاهش ظرفیت ورق اتصال به علت کمانش لبه آزاد ورق ..... ۷۹
- شکل ۹۰: بررسی اثر نقطه هم‌رسی اتصال مهاربندهای V در شکل‌پذیری آنها ..... ۷۹
- شکل ۹۱: اثر طول مهارنشده ورق اتصال در ظرفیت نهایی فشاری ورق اتصال ..... ۸۰
- شکل ۹۲: شکل کلی ورق اتصال مورد مطالعه توسط سنگ و همکارانش ..... ۸۰
- شکل ۹۳: تغییر زاویه و طول جوش در یک ورق اتصال با ابعاد ثابت ..... ۸۲
- شکل ۹۴: تقسیم بندی ورق اتصال جهت مطالعه ظرفیت فشاری ..... ۸۲
- شکل ۹۵: نمونه‌ای از مدل‌های مورد استفاده محققین در مطالعات آزمایشگاهی ..... ۸۳
- شکل ۹۶: مجموعه مورد استفاده در آزمایشات آستانه اصل ..... ۸۵
- شکل ۹۷: گسیختگی ورق اتصال با اجرای جزئیات ضعیف در کمانش برون صفحه‌ای ..... ۸۶
- شکل ۹۸: رفتار انعطاف پذیر ورق اتصال با منظور نمودن فاصله  $2t$  ..... ۸۶
- شکل ۹۹: رعایت مفهوم خط آزاد خمش با فاصله  $2t$  در حالت کمانش خارج صفحه مهاربند ..... ۸۷
- شکل ۱۰۰: اجزای اصلی تشکیل دهنده قاب مهاربندی ..... ۹۰
- شکل ۱۰۱: زنجیره مکانیزم‌های تسلیم در قاب مهاربندی شده ..... ۹۰

- 
- شکل ۱۰۲ : مکانیسم های شکل پذیر و ترد یک قاب مهاربندی ..... ۹۱
- شکل ۱۰۳ : نمونه ای از ورق اتصال مهاربند با رعایت محور خمش بیضی شکل ..... ۹۲
- شکل ۱۰۴ : تصویر کلی سیستم مورد استفاده در مطالعات آزمایشگاهی ردر و لمان ..... ۹۳
- شکل ۱۰۵ : قاب مورد مطالعه در مطالعات آزمایشگاهی ردر و لمان ..... ۹۴
- شکل ۱۰۶ : پراکنندگی کرنش معادل پلاستیک در انواع ورقهای اتصال ..... ۹۵
- شکل ۱۰۷ : مدل پیشنهادی خط آزاد خمش بیضوی و هندسه ورق مهاربند ..... ۹۶
- شکل ۱۰۸ : مدل ایدال اتصالات متداول و اتصال پیشنهادی ..... ۹۸
- شکل ۱۰۹ : جزئیات جابجایی خارج از محور مهاربند در روش پیشنهادی و جابجایی محوری مهاربند در روش رایج ..... ۹۹
- شکل ۱۱۰ : نمایی از ورق اضافه شده در محل اتصال مهاربند به ورق اتصال به منظور کنترل تاخیر برشی ..... ۱۰۱
- شکل ۱۱۱ : دیاگرام آزاد تجزیه نیروها در روش تورنتون (UFM) ..... ۱۰۲
- شکل ۱۱۲ : عرض موثر ورق اتصال در کشش (عرض ویتمور) ..... ۱۰۳
- شکل ۱۱۳ : طول و عرض موثر ورق اتصال در فشار ..... ۱۰۴
- شکل ۱۱۴ : نمونه ای از طراحی ورق مهاربند به روش UFM و رعایت ضابطه خط آزاد خمش مستقیم ..... ۱۰۵
- شکل ۱۱۵ : نمونه ای از طراحی ورق مهاربند به روش UFM و رعایت ضابطه خط آزاد خمش بیضی شکل ..... ۱۰۶
- شکل ۱۱۶ : نواحی اضافه شده به ورق ها که مانع از خمش آزاد ورق اتصال خواهد شد. ..... ۱۰۶



## فهرست جداول

- جدول ۱ : مشخصات نمونه های آزمایش شده در گزارش UCB/EERC80-40 ..... ۱۶
- جدول ۲ : مقایسه رفتار نمونه های دوسر مفصل آزمایش شده در گزارش UCB/EERC80-40 ..... ۱۸
- جدول ۳ : مشخصات نمونه های دوسرگیردار آزمایش شده در گزارش ..... ۲۰
- جدول ۴ : مقایسه رفتار نمونه های دوسرگیردار آزمایش شده در گزارش UMEE82R1 ..... ۲۰
- جدول ۵ : خصوصیات نمونه ی آزمایش شده توسط Kanvinde ..... ۲۳
- جدول ۶ : نمونه های بادبندی تحت بارگذاری محوری چرخه ای در آزمایشات Tsuji ..... ۲۴
- جدول ۷ : نحوه ی کماتش قاب های بادبندی شده ی تحت آزمایش ..... ۳۴
- جدول ۸ : نمونه های آزمایش شده و نحوه ی نام گذاری آنها ..... ۳۴
- جدول ۹ : نمونه های شبه I شکل آزمایش شده در تحقیقات اشار شده ..... ۴۵
- جدول ۱۰ : ضرایب پارامترهای طراحی عملکردی و معیارهای پذیرش بادبندها در ASCE41-06 ..... ۴۹
- جدول ۱۱ : مقایسه رفتار نمونه های دوسر مفصل ..... ۵۳
- جدول ۱۲ : مقایسه رفتار نمونه های دوسرگیردار با لقمه های جوشی ..... ۵۴
- جدول 13 : ضرایب پیشنهادی آقای ردر برای ضریب  $\beta$  ..... ۹۱

# بخش اول

## بررسی رفتار اعضای مهاربندی

تهیه و تنظیم: مهرداد زارع

## ۱- مکانیزم عملکرد قاب‌های بادبندی

### ۱.۱ مقدمه:

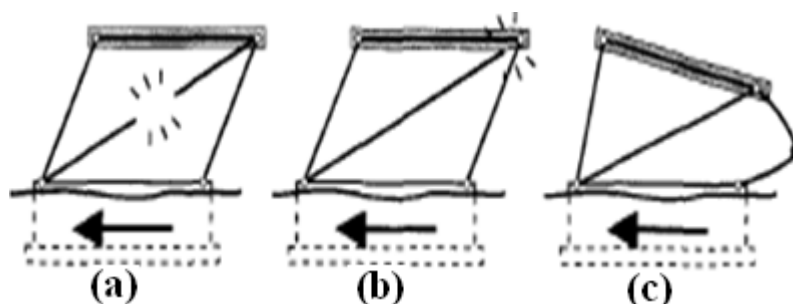
قاب‌های بادبندی شده از رایج‌ترین سیستم‌های باربر جانبی در سازه‌های گوناگون بالاخص در سازه‌های فولادی می‌باشند که به دو گروه کلی تقسیم می‌گردند: ۱- قاب بادبندی هم‌محور ۲- قاب بادبندی برون‌محور

قاب‌های بادبندی هم‌محور دارای سختی اولیه‌ی بالایی هستند ولی با رخداد کمانش در اعضای بادبندی آن‌ها، از میزان این سختی کاسته می‌گردد. مکانیزم باربری و اتلاف انرژی این نوع بادبندها بر تسلیم کششی و کمانش فشاری بادبند، تسلیم کششی و کمانش فشاری ورق اتصال، استوار است. البته تاکنون تسلیم کششی و کمانش فشاری ورق اتصال مورد توجه چندانی قرارنگرفته است ولی تحقیقات نشان داده که این مورد می‌تواند نقش بسیار مهمی در بالا بردن ظرفیت اتلاف انرژی سیستم داشته باشد. رفتار پس‌کمانشی این قاب‌ها با افت شدید مقاومت و سختی جانبی قاب همراه است. با توجه به افت شدید مقاومت در چرخه‌های متوالی بارگذاری، این دسته از قاب‌های بادبندی دارای اتلاف انرژی کمتری نسبت به دسته‌ی دوم می‌باشند.

قاب‌های بادبندی برون‌محور که دارای سختی اولیه‌ی کمتر می‌باشند ولی این میزان سختی را در طی بارگذاری، به میزان کمتری نسبت به بادبندهای هم‌محور، از دست می‌دهند و این مطلب به مکانیزم باربری جانبی آن‌ها مربوط می‌گردد که بر پایه‌ی باربری محوری و خمشی اعضای بادبندی و چشمه‌ی تیر استوار است.

همان‌گونه که در سطرهای قبل اشاره شد، در قاب‌های بادبندی شده، باربری جانبی به‌واسطه‌ی ایجاد نیروی محوری در بادبندها و ستون‌ها تحمل می‌گردد و برای سازه آرایشی مانند یک خرپای قائم را رقم می‌زند. ایجاد خواص غیر-الاستیک مثل کمانش و تسلیم در ستون‌ها اصلاً مورد قبول نیست چراکه ممکن است به باربری ثقلی سازه آسیب جدی برساند و امنیت جانی ساکنان به خطر بیفتد. از این‌رو، در این نوع قاب‌ها، فقط بادبندها اجازه دارند تا وارد ناحیه‌ی خمیری شوند. پس بادبندها بایستی برای تغییرشکل‌های زیاد ناحیه‌ی غیرالاستیک طراحی گردند و این قابلیت در آن‌ها ایجاد گردد تا بتوانند این تغییرشکل‌ها را بدون خرابی پشت سر بگذارند و سایر اعضا نیز بایستی برای حداکثر نیروی ایجاد شده توسط بادبندها کنترل گردند. در شکل ۱ نمایی از برخی شکست‌های غیر قابل قبول در یک سازه‌ی بادبندی شده نشان داده شده است.

شکل ۱-a مربوط به نبود قابلیت شکل‌پذیری کافی در بادبند، شکل ۱-b مربوط به نبود مقاومت کافی اتصال در تحمل حداکثر بار ناشی از بادبند و شکل ۱-c مربوط به نبود قابلیت تحمل نیروی محوری ایجاد شده در ستون توسط بادبند است.



شکل ۱: شکست‌های نامطلوب در سازه‌های با قاب بادبندی شده

با توجه به بند قبل، هر قاب بادبندی از چندین عنصر مهم تشکیل شده که مهم‌ترین آن‌ها، عضو بادبندی و ورق اتصال (گاست) می‌باشند.

استفاده از مقاطع بادبندی که دارای رفتار شناخته‌شده از نظر شکل‌پذیری باشند، برای رسیدن به عملکرد مناسب در حین زلزله، بسیار اثرگذار و مطلوب است. لذا در این طرح سعی بر آن است که رفتار این عنصر مهم قاب، با تکیه بر چند مقطع خاص، به تفصیل بررسی گردد.

ولی این به معنای عدم اهمیت اتصالات بادبندها نیست و نکته‌ی بسیار حائز اهمیت و خطرآفرین برای قاب‌های بادبندی، که امکان ایجاد رفتار ترد و نامطلوب را در آن فراهم می‌آورد، توجه ناکافی به اتصالات این سیستم است، چراکه در غیر این صورت، سیستم قبل از رسیدن به میزان اتلاف انرژی و شکل‌پذیری کافی، از محل جوش، پیچ‌ها و یا ورق اتصال (گاست)، دچار شکست ترد خواهد شد.

ضوابط لرزه‌ای فعلی بر این مطلب الزام دارند که ورق‌های اتصال بایستی دارای ظرفیتی بیشتر از ظرفیت بادبند در کشش و فشار باشند ولی تحقیقات اخیر تا حدودی نشان داده که حداکثر شکل‌پذیری قاب زمانی حاصل می‌گردد که بادبند و گاست دارای ظرفیت باربری تقریباً برابری باشند چراکه سختی و مقاومت بسیار بالاتر گاست نسبت به بادبند موجب تمرکز بیشتر کرنش‌ها در عضو بادبندی می‌شود و گسیختگی سریع‌تر در عضو بادبندی را به دنبال خواهد داشت، لذا با استفاده از روشی بهینه می‌توانیم از توان اتلاف انرژی هر دو جزء، بادبند و ورق اتصال استفاده کنیم.

## ۲.۱ رفتار نیرو- تغییر شکل بادبند

هر عضو بادبندی، تحت بارگذاری چرخه‌ای (دینامیکی یا شبه دینامیکی)، رفتار نیرو-تغییرشکلی مانند آنچه که در شکل ۲ نشان داده شده را از خود نشان می‌دهد. بررسی وقایعی که در طول بارگذاری برای چنین عضوی روی می‌دهد، کمک شایانی به شناخت مکانیزم عملکرد و فلسفه‌ی طراحی این اعضا خواهد نمود.

مراحل رفتاری عملکردی اعضای بادبندی عبارتند از:

OA: کوتاه‌شدگی الاستیک عضو در فشار

AB: ناحیه‌ی کمانش الاستیک

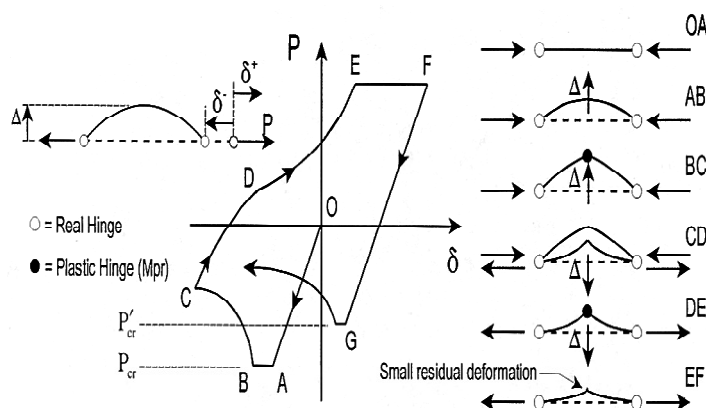
BC: ناحیه‌ی پلاستیک در فشار

CD: افزایش طول الاستیک در فشار و سپس در کشش

DE: ناحیه پلاستیک شدگی در کشش

EF: تسلیم کششی

FG: کاهش طول الاستیک در کشش



شکل ۲: مراحل رفتاری عضو بادبندی در چرخه اول بارگذاری

۱- کوتاه شدگی الاستیک: در این مرحله بار و تغییر مکان رابطه‌ای تقریباً خطی دارند.

۲- کمانش الاستیک: در این مرحله افزایش بار بسیار کم می‌باشد و اگر باربرداری صورت گیرد، تغییر شکل پسماندی نخواهیم داشت. در اثر تغییر مکان جانبی در عضو بادبندی و در اثر  $P-\delta$  در عضو لنگر خمشی بوجود می‌آید و تغییر طولی ناشی از هندسه‌ی عضو در آن ایجاد می‌گردد.



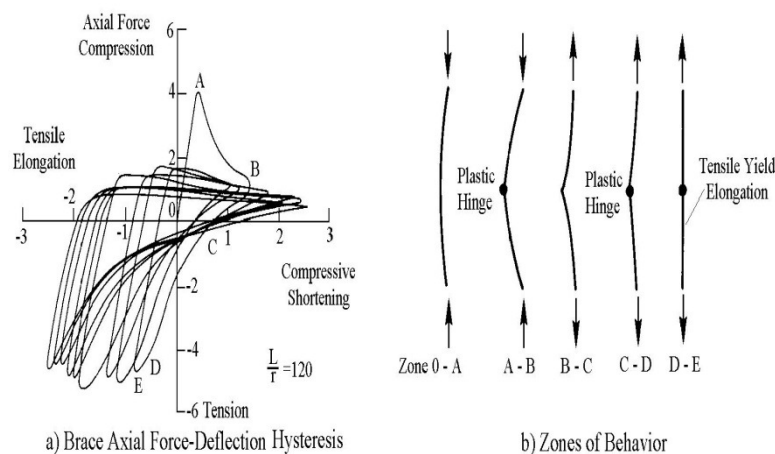
۳- در پایان مرحله‌ی قبل، از اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی، در عضو مفصل پلاستیک ایجاد می‌گردد. در این مرحله، بر اثر دوران در مفصل پلاستیک، تغییر مکان جانبی افزوده می‌گردد و چون لنگر به لنگر پلاستیک رسیده است، نیروی محوری رو به کاهش می‌رود. در انتهای این مرحله، لنگر حداکثر و نیروی محوری حداقل است. در پایان این مرحله، تغییر طول  $\delta p$  ناشی از مفصل پلاستیک اضافه خواهد شد.

۴- در این مرحله، دوران مفصل پلاستیک ثابت است ولی انحنای سایر قسمت‌ها از بین می‌رود.

۵- با بارگذاری در کشش، جهت لنگر عوض می‌شود و چرخش مفصل پلاستیک،  $\theta$  کاهش می‌یابد و تغییرمکان جانبی،  $\Delta$ ، نیز به تبع آن کاسته می‌گردد.

۶- در مرحله‌ی بعد در نقطه‌ی E، لنگر به  $M_p$  رسیده و سیر کاهش  $\Delta$  بیشتر می‌شود و  $\theta$  را با شدت بیشتری می‌کاهد. این ناحیه را پلاستیک در کشش می‌نامند. در این جا،  $\Delta$  کاهش یافته و دوباره لنگر کم‌تر از  $M_p$  می‌شود و نیروی محوری افزون می‌گردد. با این حال، یادآوری این نکته ضروری است که انحنای ایجاد شده تحت کماتش در کشش کاملاً حذف نخواهد شد و همین مطلب موجب افت بار کماتشی در سیکل‌های بعدی خواهد شد.

به محض آن که عضو دوباره بارگذاری شد و نمونه به صورت فشاری تحت بار قرار گرفت، عضو بادبندی مانند عضوی با تغییرشکل اولیه رفتار می‌کند که ظرفیت نیرویی کماتش،  $P_{cr}$  برای آن به طور شاخصی کم‌تر از ظرفیت کماتش نیرویی در اولین بارگذاری است. با ادامه‌ی چرخه‌های بارگذاری، نیروی پس کماتش به سرعت به مقداری تقریباً ثابت میل می‌کند.



شکل ۳: رفتار نیرو-تغییرشکل محوری آزمایشگاهی یک عضو بادبندی تحت بارگذاری چرخه ای



۱) در اولین چرخه‌ی بارگذاری: اگر عضو در اولین چرخه‌ی بارگذاری خود باشد و بعبارتی دارای انحنای اولیه نباشد ( $\theta=0$ )، آن‌گاه این عضو در صورتی که دارای مقاومت تسلیم بیشتر از بارکمانش  $P_{cr}$  باشد، کمانش خواهد کرد. ( $P_{cr} \leq P_y$ )

۲) در سایر چرخه‌های بارگذاری: در این حالت چون عضو قبلاً بارگذاری شده و دارای تغییرشکل و انحنای اولیه است ( $\theta \neq 0$ )، در باری به مراتب کم‌تر از  $P_{cr}$  دچار کمانش خواهد شد.

- کمانش پلاستیک:

بعد از اینکه کمانش الاستیک رخ داد، با رسیدن نواحی زیادی از مقطع به تنش تسلیم، کمانش پلاستیک بوجود می‌آید. ولی در یک حالت خاص نیز هست که کمانش پلاستیک و الاستیک همزمان رخ داده و بین آن‌ها تفاوتی نمی‌توان قائل شد و آن حالتی است که عضو اولاً دارای انحنای اولیه نباشد و ثانیاً ( $P_{cr} \geq P_y$ ). در این حالت قبل از رخداد کمانش الاستیک، تمام مقطع پلاستیک شده و کمانش پلاستیک رخ می‌دهد.

### ۳.۳.۱ رفتار گسیختگی عضو بادبندی

در صورت رعایت ضوابط طراحی، شکست نهایی عضو در محل مفصل پلاستیک و به دلیل خستگی و گسترش ترک‌های ناشی از کمانش موضعی خواهد بود. در غیر این صورت، شکست به جهت عدم طراحی صحیح در اتصالات رخ خواهد داد و رفتار ترد قاب را به دنبال خواهد داشت. در شکل ۴، این دو حالت خرابی بادبند نشان داده شده است.



شکل ۴: حالات گسیختگی در بادبند (a) خرابی ورق اتصال انتهایی (گاست) در اثر عدم طراحی صحیح (نامطلوب) (b) گسیختگی در محل مفصل پلاستیک (مطلوب)

رفتار بادبندها دارای دو وجه بسیار مهم است: ۱- توان جذب و اتلاف انرژی ۲- شکل‌پذیری و رفتار گسیختگی

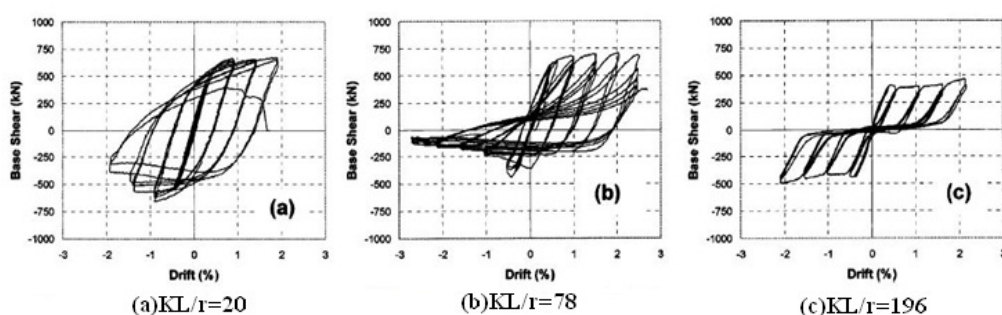
- توان جذب انرژی بادبند در فشار، به‌طور بارزی به **لاغری عضو ( $\lambda$ )** و مقاومت آن در برابر کمانش جانبی الاستیک بستگی دارد. (شکل ۵)

- شکل‌پذیری بادبند و مدت زمان لازم تا رسیدن به گسیختگی، به **نسبت عرض به ضخامت ( $b/t$ )** و **لاغری عضو ( $\lambda$ )** بستگی دارد. تقریباً نتایج تمامی تحقیقات صورت گرفته تاکنون نشان می‌دهد که کاهش نسبت عرض به ضخامت اثر بسیار مطلوبی در به تأخیر انداختن گسیختگی و افزایش شکل‌پذیری عضو بادبندی دارد (شکل ۷) و این عامل را مهم‌ترین عامل مؤثر بر گسیختگی بر می‌شمرند، درحالی‌که اثر لاغری بر گسیختگی عضو، در درجه‌ی دوم اهمیت قرار می‌گیرد.

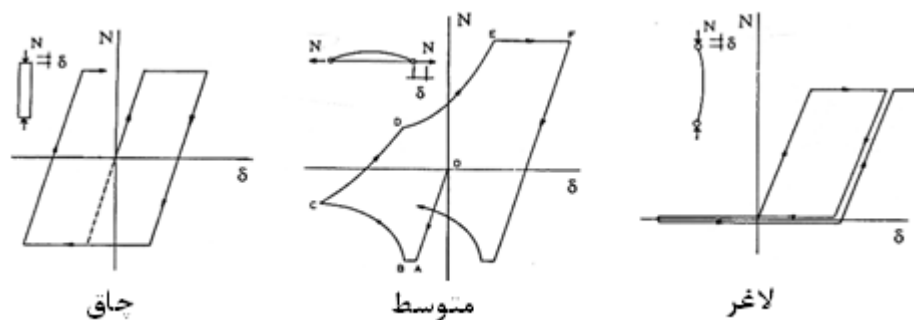
بسیاری از مطالعات صورت گرفته بر روی بادبندها نشان می‌دهد که افزایش لاغری عضو بادبندی، اثر مطلوبی بر به تأخیر انداختن گسیختگی عضو بادبندی دارد.

این مطالعات تجربی و تحلیلی نشان می‌دهد که، مکانیزم گسیختگی بادبندها در محل رخدادهای مفصل پلاستیک، بر آهنگ رشد کرنش‌های پلاستیک تجمعی و رسیدن به کرنش شکست استوار بوده و کاهش  $b/t$  و افزایش  $\lambda$ ، آهنگ رشد این پارامتر را کاسته و به این ترتیب، گسیختگی عضو به تأخیر انداخته می‌شود.

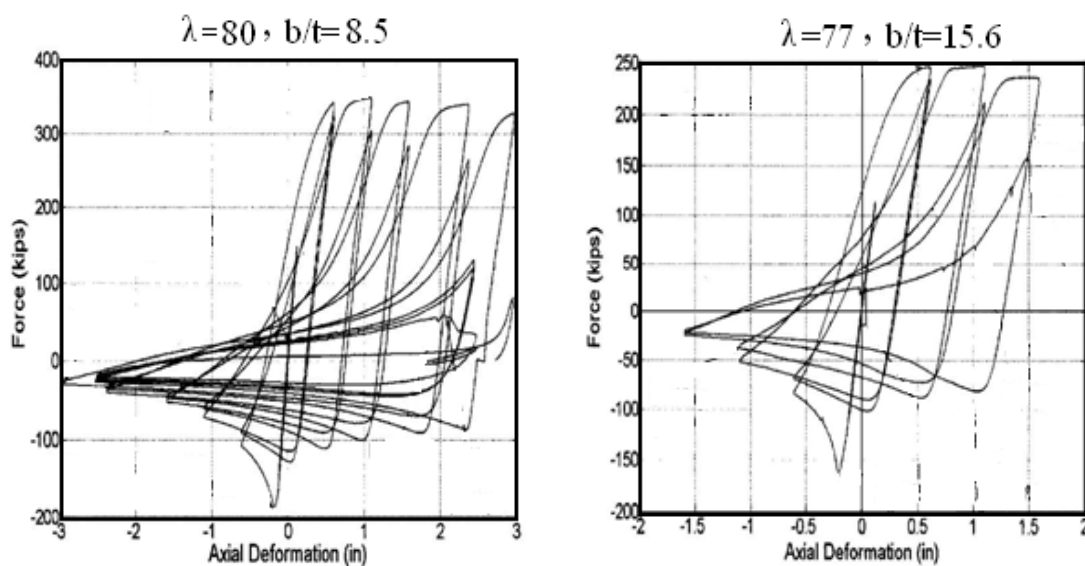
یکی از موارد مطالعاتی که اثر کاهش  $b/t$  و افزایش  $\lambda$  را به خوبی نشان داده است، مقایسه‌ی رفتار مقطع مستطیلی توپر و مقطع بال‌پهن توسط Bunzo Tsuji است، که در بند ۵ آورده شده است.



شکل ۵: اثر ضریب لاغری عضو بادبندی ( $\lambda$ ) بر اتلاف انرژی (نتایج آزمایشگاهی)



شکل ۶: اثر ضریب لاغری عضو بادبندی ( $\lambda$ ) بر اتلاف انرژی (مدل‌های تئوری)



شکل ۷: اثر نسبت عرض به ضخامت عضو بادبندی ( $b/t$ ) بر شکل‌پذیری عضو

## ۴.۱ کمانش موضعی

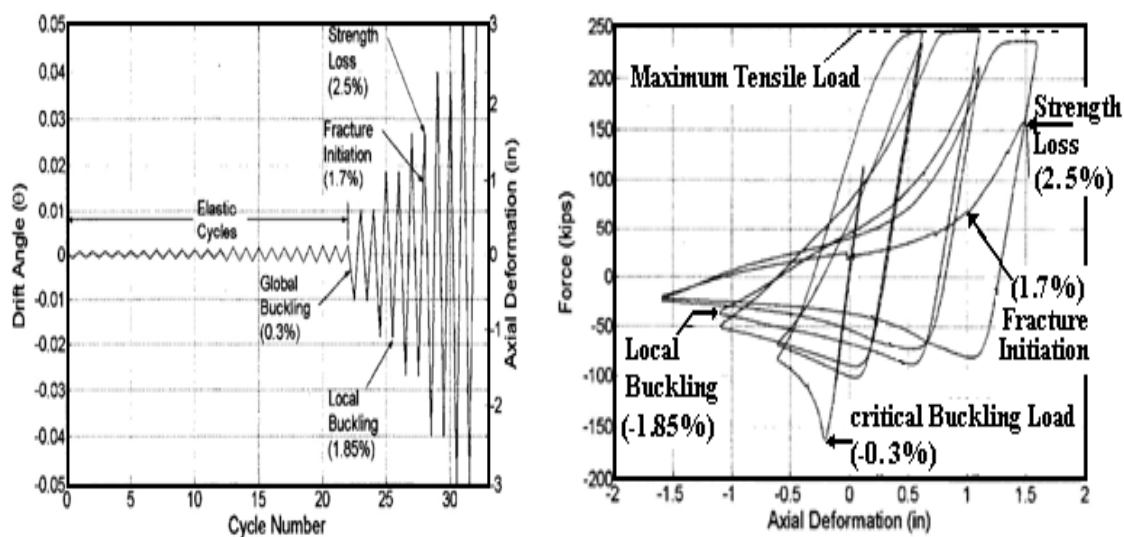
از زمانی که عضو بادبندی تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار داده می‌شود تا زمانی که تحت این بارگذاری دچار پارگی کامل عضو شود، دو نوع کمانش در این عضو رخ می‌دهد.

– کمانش کلی: با بارگذاری عضو در فشار، زمانی که عضو به بار کمانشی خود می‌رسد، در آن کمانش کلی رخ می‌دهد که باعث افت شدید باربری عضو در فشار می‌گردد ولی این رخداد تأثیری بر گسیختگی عضو ندارد.

- کمانش موضعی: با ادامه‌ی بارگذاری چرخه‌ای عضو بادبندی، در عضو مفاصل پلاستیک ایجاد شده و در چرخه‌های بارگذاری بعد میزان کرنش‌های پلاستیک در محل این مفاصل به صورت تجمعی افزوده می‌گردد تا لحظه‌ای که در مقطع مفصل پلاستیک، مقطع دچار اعوجاج شده و به نوعی کمانش در یک طول کوچک از عضو را تجربه می‌کند.

نتایج حاصل از تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که، با رخداد کمانش موضعی، به سرعت ترک‌هایی در مقطع بحرانی عضو ظاهر شده و در ادامه، گسیختگی کامل مقطع عضو رخ خواهد داد، لذا به تأخیر انداختن کمانش موضعی به معنای به تأخیر انداختن پارگی مقطع و بالا بردن شکل‌پذیری مقطع می‌باشد. در شکل ۸، به‌عنوان نمونه، رفتار آزمایشی یک مقطع قوطی بادبندی نشان داده شده است. در این نمودار هم دیده می‌شود که بعد از رخداد کمانش موضعی، عضو تنها دو چرخه‌ی بارگذاری دیگر را تحمل کرده و بعد از آن گسیخته شده است.

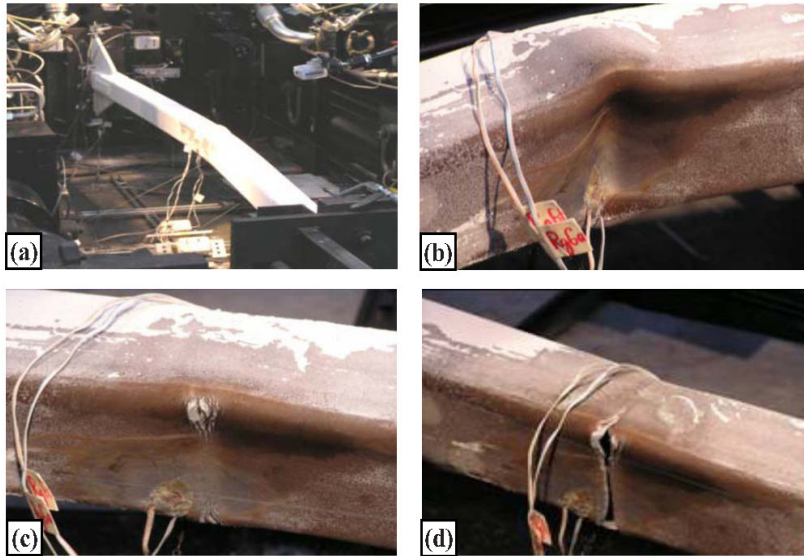
قابل ذکر است که لحظه‌ی رخداد کمانش کلی عضو و افت مقاومت فشاری، بر روی نمودار نیرو-تغییرشکل محوری عضو، قابل تشخیص است درحالی‌که لحظه‌ی رخداد کمانش موضعی و آغاز ترک در عضو، تنها با تصاویر گرفته شده از نمونه‌ها در حین آزمایش، قابل تشخیص است و بر روی نمودارهای نیرو-تغییرشکل محوری عضو تحت بارگذاری چرخه‌ای، قابل تشخیص نیست.



شکل ۸: ترتیب رخدادها در طی بارگذاری چرخه‌ای یک عضو بادبندی

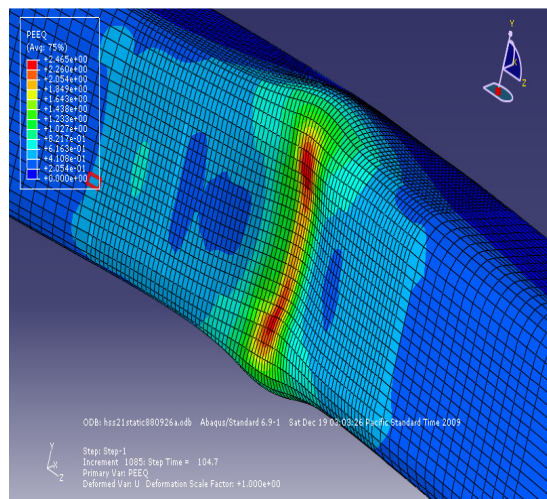
در مقاطع بسته مانند مقاطع قوطی، بعد از رخداد کمانش موضعی در عضو، تیزشدگی گوشه‌های داخلی خم کمانش کلی مشاهده می‌گردد و با گذشت تعداد کمی از چرخه‌های بعدی، ترک‌های ایجاد شده در این محل‌ها باز شده و مقطع در اولین چرخه‌ی کششی بعدی، کاملاً گسیخته می‌گردد. (شکل ۹ و ۱۰)

در مقاطع آشکل، بعد از رخداد کمانش موضعی، (شکل ۱۱)، تیزشدگی در لبه‌های بال‌ها رخ داده و در نهایت ترک‌ها از همین محل آغاز شده و تمامی مقطع را دچار گسیختگی می‌نماید. (شکل ۱۲)

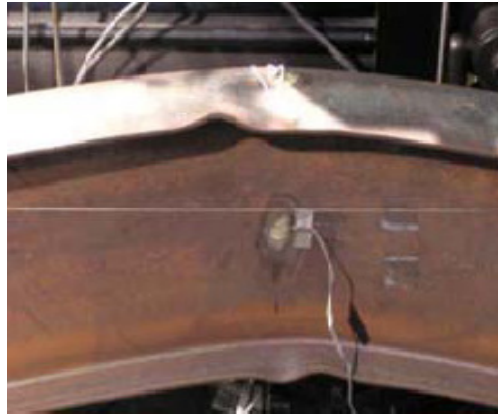


شکل ۹: مراحل گسیختگی عضو بادبندی قوطی شکل در بارگذاری چرخه ای: (a) کمانش کلی عضو (b) کمانش موضعی

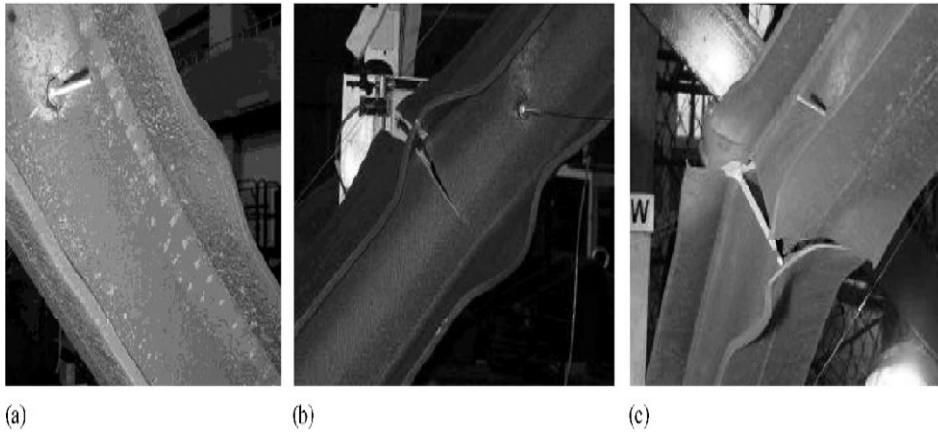
(c) تیزشدگی گوشه‌ها (d) گسیختگی عضو



شکل ۱۰: لحظه ی رخداد کمانش موضعی و ازدیاد کرنش‌های پلاستیک در مطالعات تحلیلی



شکل ۱۱: نحوه‌ی رخداد کماتش موضعی در عضو بادبندی با مقطع I شکل



شکل ۱۲: مراحل گسیختگی عضو بادبندی I شکل تحت بارگذاری چرخه ای: (a) کماتش موضعی (b) آغاز پارگی ناشی از ازدیاد کرنش موضعی (c) گسیختگی کامل عضو



## ۲- بررسی رفتار بادبند‌های با مقطع H,I

### ۱.۲ پیشینه تحقیقات در خصوص رفتار بادبند‌های H,I

رفتار مقاطع نوردیده‌ی H و I شکل به‌عنوان عضو بادبندی، در صورت داشتن اتصالات انتهایی مناسب می‌تواند کارایی بسیار مناسبی داشته باشد. در ادامه‌ی این مطلب سعی داریم تا با استناد به رفتار آزمایشگاهی مشاهده شده از این‌گونه مقاطع، راه را برای استفاده از این مقاطع روشن‌تر بنمائیم.

اکثریت اعضای بادبندی با این نوع مقطع تحت آزمایش قرار داده شده‌اند دارای مقطع W آمریکائی هستند که مقاطع I و H را در بر دارد. با این‌که به نظر می‌رسد رفتار کلی این مقاطع بسیار نزدیک به هم باشد ولی از آن‌جائی مقاطع I شکل در کشورمان رایج‌تر هستند، در بند ۱۰.۲، نتایج مربوط به مقاطعی که شباهت بیشتری به مقاطع I شکل دارند، از تمامی بندهای ۳.۲ تا ۹.۲ جمع‌آوری شده و رفتار آن‌ها به صورت جداگانه در این بند بررسی شده است.

در این گزارش به بررسی نتایج آزمایشات انجام گرفته بر روی این مقاطع می‌پردازیم تا بتوان اطلاعاتی نسبتاً کامل را در این رابطه ارائه نموده و در صورت مقبولیت از آن‌ها در سازه‌های بادبندی استفاده نمائیم.

در این گزارش، دو بخش اصلی وجود دارد: (۱) بررسی اعضای بادبندی با مقطع H,I (۲) ارائه‌ی اتصالات انتهائی (گاست) آزمایش‌شده‌ای که برای قاب‌های بادبندی با این نوع مقطع مناسب بوده و کارائی خوبی از خود نشان داده است.

### ۲.۲ مرور کلی تحقیقات انجام شده

از جمله کارهایی که بر روی این‌گونه مقاطع انجام گرفته است، به چندین مورد مهم می‌توان اشاره نمود.

- (۱) مطالعات Black , Popov که در سال ۱۹۸۰ در دانشگاه برکلی انجام گرفته است. در این مطالعه، نمونه‌ها به صورت محوری و منفرد آزمایش شده‌اند. علاوه بر اعضای I شکل، اعضای با مقطع قوطی، لوله‌ای، T شکل، دابل ناودانی پشت به پشت و دابل نبشی نیز مورد آزمایش قرار گرفته‌اند.

- (۲) مطالعات آقایان Goel, Gugerli, در سال ۱۹۸۲ در دانشگاه میشیگان که در این مطالعه اعضای بادبندی بدون آن که از ورق اتصال استفاده شده باشد، به تیرهای بالا و پایین قاب با جوش دورتادور متصل می-گردند. در کار ایشان، علاوه بر مقاطع I شکل، بر روی مقاطع قوطی نیز آزمایش با بارگذاری چرخه‌ای انجام گرفته است. نتایج این آزمایشات می‌تواند رفتار بادبندهای دوسر گیردار با مقطع بال‌پهن را روشن‌تر نموده و در مرحله‌ی بعد با مقایسه‌ی صورت گرفته بین رفتار این مقاطع با مقاطع قوطی، برتری یا ضعف رفتاری این‌گونه مقاطع را آشکارتر نماید.
- (۳) مطالعات Kanvinde, Fell در سال ۲۰۰۶ انجام گرفته است. در این مطالعه اعضای با مقطع لوله‌ای، قوطی و I شکل مورد بررسی نسبتاً مفصلاً قرار گرفته‌اند. نتایج ارائه شده در این گزارش نشان از رفتار مطلوب و بسیار شکل‌پذیر مقاطع I شکل لاغر دارد.
- (۴) مطالعات Bunzo Tsuji در سال ۱۹۸۸ در ژاپن بر روی مقاطع منفرد، در این مطالعه اعضای بادبندی با مقطع بال‌پهن و مستطیلی توپر تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار داده شده‌اند و در برابر این بارگذاری رفتار آن‌ها سنجیده شده است. نکته‌ی قابل ذکر در این رابطه آن‌است که در این آزمایش اعضای بال‌پهن دارای مقطع نوردیده نبوده‌اند و به‌صورت عضو ساختمانی<sup>۱</sup> مورد آزمایش قرار داده شده‌اند، لیکن استفاده از این اعضا با مقطع نوردیده می‌تواند رفتاری بهتر از آن‌چه در این آزمایش مشاهده شده است را نیز در بر داشته باشد.
- (۵) مطالعات Bunzo Tsuji و Takayoshi Nishino در سال ۱۹۸۶ در ژاپن که در آن اعضای بال‌پهن به-صورت قابی مورد آزمایش قرار داده شده‌اند. هدف اصلی ایشان، بررسی رفتار بادبندهای با مقطع بال‌پهن در دو شکل قابی  $\Lambda$  و Z بوده که در ادامه‌ی آن، اثر مقاومت نقطه‌ی اتصال بادبند به تیر بر رفتار قاب-های  $\Lambda$  شکل نیز مورد آزمایش قرار گرفته است.
- (۶) مطالعات Kato Ben و Nakamura Noriyoshi و Takahashi Yasuhiko تحت سرپرستی دانشگاه توکیو و چندین مؤسسه‌ی تحقیقاتی کشور ژاپن، در این مطالعه چندین قاب بادبندی شده‌ی X شکل با مقطع بادبند بال‌پهن مورد آزمایش قرار داده شده‌اند. در این آزمایش سه‌نمونه‌ی اتصال انتهایی بادبند به تیر و ستون برای بادبند با مقطع بال‌پهن پیشنهاد شده و سپس مورد آزمایش قرار داده شده است. از

<sup>۱</sup> Built-up

آنجایی که در بررسی رفتار بادبندها و قاب‌های بادبندی، نوع اتصال انتهایی (گاست) همواره بسیار اثرگذار و حین زلزله تعیین‌کننده بوده است لذا استفاده از نتایج این مطالعه به همراه سایر مطالعات صورت گرفته بر روی عضو بادبندی بال‌پهن می‌تواند ما را در رسیدن به رفتاری بسیار مطلوب از قاب بادبندی شده با مقاطع بال‌پهن یاری رساند.

(۷) مطالعات Atsuo Tanaka در سال ۱۹۸۹ در کشور ژاپن، در این مطالعه، چهار نوع اتصال انتهایی برای بادبندهای با مقطع بال‌پهن در نظر گرفته شده است و در ادامه رفتار این اتصالات پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است. از نظر نگارنده‌ی متن حاضر، این آزمایش می‌تواند ما در رسیدن به دتایلی کامل در اتصالات این‌گونه بادبندها یاری رساند.

## ۳.۲ مطالعات Popov و Black در سال ۱۹۸۰ بر روی مقاطع گوناگون تحت

### بارگذاری چرخه‌ای

این کار مطالعاتی در سال ۱۹۸۰ در دانشگاه برکلی صورت گرفته و تحت عنوان گزارش UCB/EERC80-40 منتشر گردیده است.

در این آزمون تجربی، اعضای با مقاطع قوطی، I شکل، T شکل، لوله‌ای، دابل نبشی و دابل ناودانی پشت به پشت تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار داده شده‌اند.

از آنجائی که هدف نگارندگان گزارش UCB/EERC80-40 از آزمایش این نمونه‌ها، رسیدن به چگونگی چرخه‌های نیرو-تغییرشکل محوری این اعضا بوده و رفتار خرابی این نمونه‌ها را مد نظر نداشته‌اند، آزمایشات تا رسیدن به شکست نهایی، ادامه داده نشده است. لذا در رابطه با این نمونه‌ها حدود شکل‌پذیری ارائه شده توسط گزارش را به عنوان حد پائین شکل‌پذیری این‌گونه مقاطع می‌توان در نظر گرفت و گفت که قطعاً شکل‌پذیری واقعی مقطع از این حدود بالاتر است. با توجه به موضوع بحث، فقط رفتار نمونه‌های I شکل این گزارش مورد بررسی قرار داده شده است. در جدول ۱، مشخصات نمونه‌های آزمایش شده در این مطالعه نشان داده شده است. نمونه‌ها از نظر شرایط انتهایی به دو دسته تقسیم می‌گردند:

۱- نمونه‌های با دو انتهای مفصلی

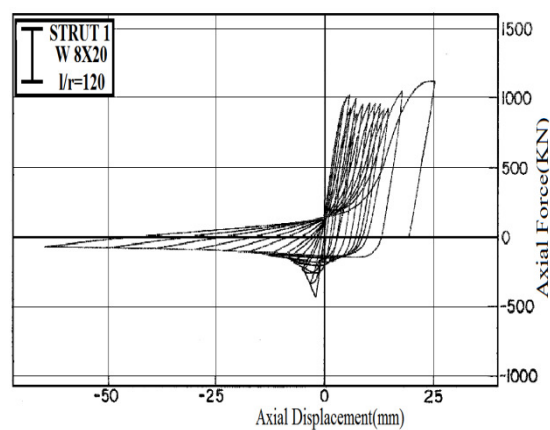
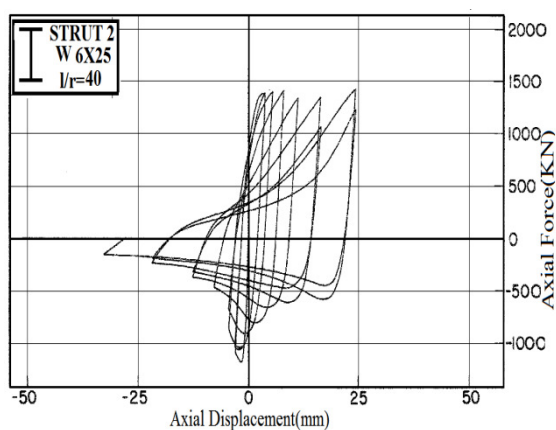
۲- نمونه‌های با یک انتهای مفصلی و یک انتهای گیردار

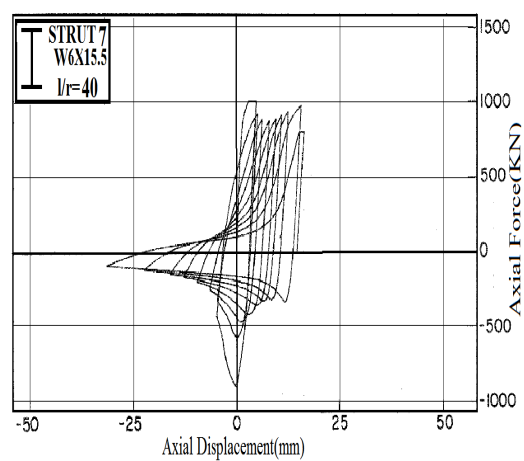
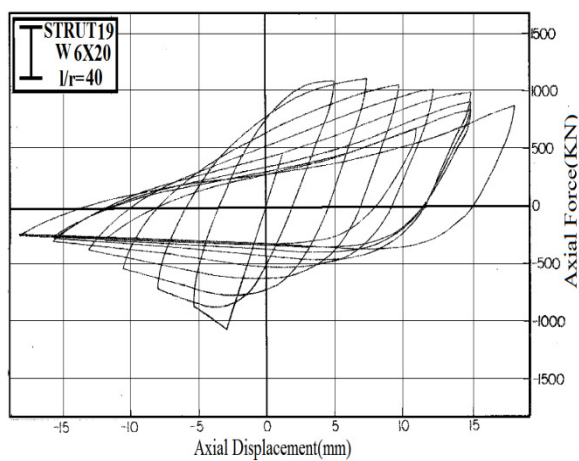
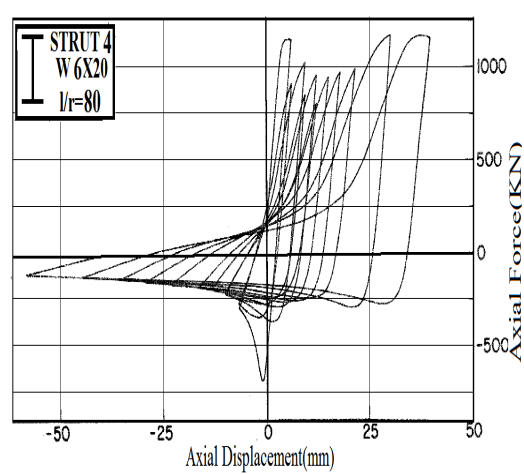
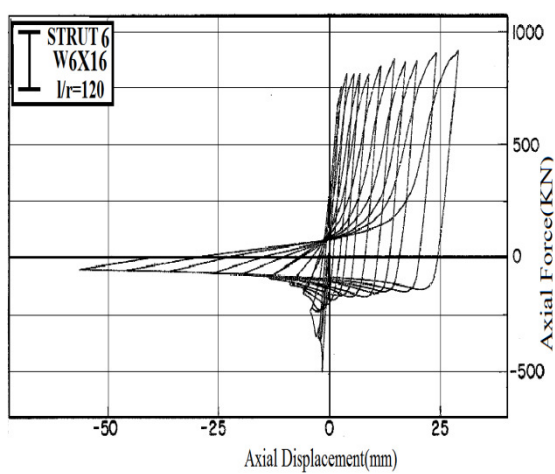
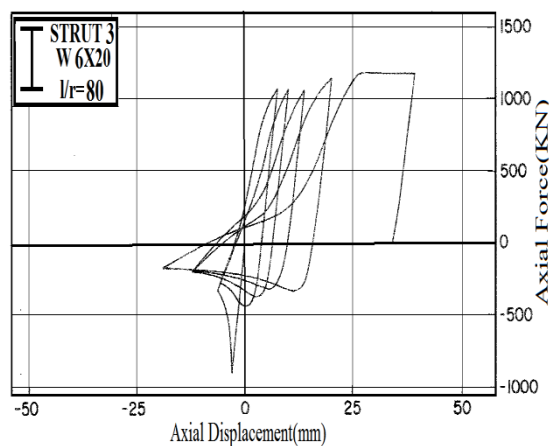
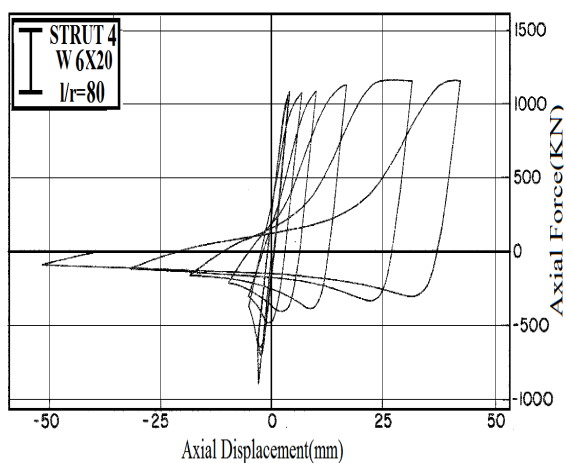
جدول ۱: مشخصات نمونه های آزمایش شده در گزارش UCB/EERC80-40

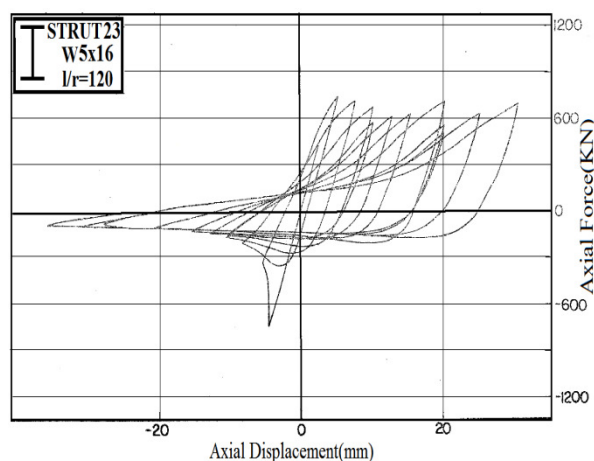
specimen	strut1	strut2	strut3	strut4	strut5	strut6	strut7	strut19	strut23
section	w8x20	w6x25	w6x20	w6x20	w6x20	w6x16	w6x15.5	w6x20	w5x16
kl/r	120	40	80	80	80	120	40	40	80
A(cm <sup>2</sup> )	39.7	47.3	37.8	37.8	37.8	30.6	28.6	37.8	30.2
h(cm)	21.0	16.2	15.8	15.8	15.8	16.0	15.2	15.8	12.7
b(cm)	13.4	15.4	15.3	15.3	15.3	10.2	15.2	15.3	12.7
tf(cm)	1.02	1.16	0.93	0.93	0.93	1.03	0.66	0.93	0.91
tw(cm)	0.63	0.81	0.66	0.66	0.66	0.66	0.58	0.66	0.61
L(cm)	380	155	300	300	300	300	150	220	360
end condition	pined-pined	pined-pined	pined-pined	pined-pined	pined-pined	pined-pined	pined-pined	pined-fixed	pined-fixed
b/2tf	6.6	6.7	8.2	8.2	8.2	5.0	11.5	8.2	6.9

در شکل ۱۳، رفتار چرخه‌ای نمونه‌های آشکل مورد آزمایش قرار گرفته در این مطالعه، نشان داده شده است. با توجه به جدول ۱، نمونه‌های strut3 و strut4 و strut5 کاملاً مشخصاتی مشابه دارند و از آنجایی که طبق گزارش، نمونه‌ی strut3 در بارگذاری کامل شرکت داده نشده است، لذا این نمونه از مقایسه‌های ارائه شده در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ حذف گردیده است.

از سوی دیگر، تنها نمونه‌های دوسر مفصل، که دارای تعداد کافی هستند، مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.



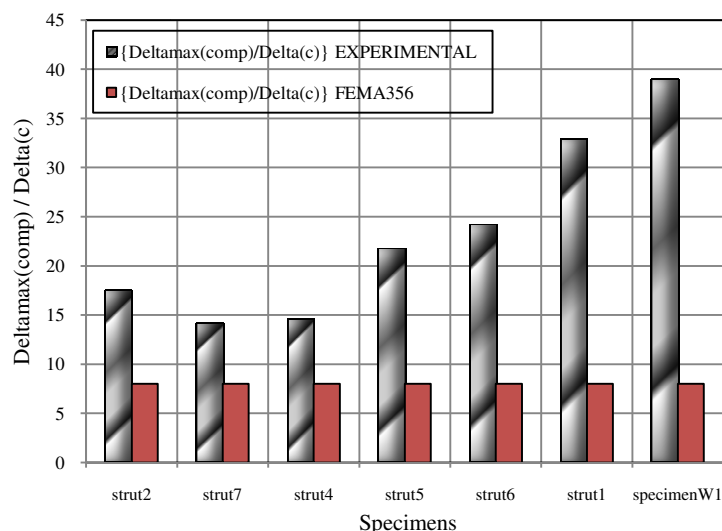




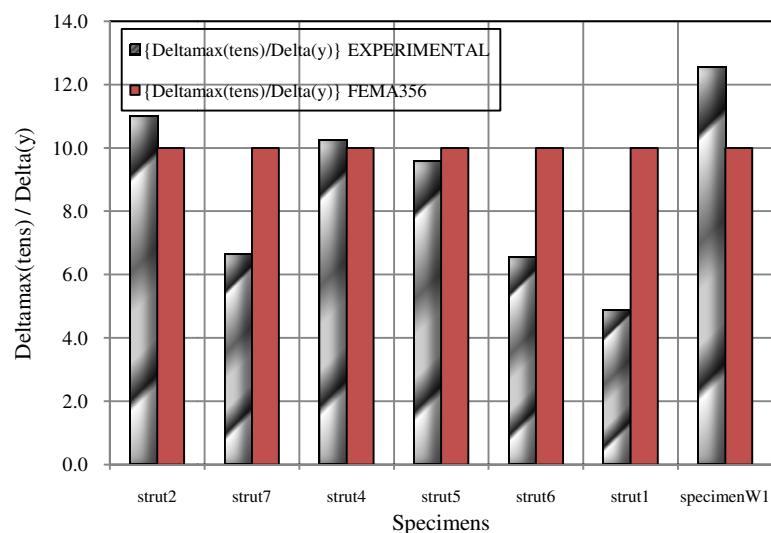
شکل ۱۳: رفتار چرخه ای نمونه های آزمایش شده تحت بارگذاری چرخه ای در گزارش UCB/EERC80-40

جدول ۲: مقایسه رفتار نمونه های دوسر مفصل آزمایش شده در گزارش UCB/EERC80-40

specimen	strut2	strut7	strut4	strut5	strut6	strut1	specimenW1
section	w6x25	w6x15.5	w6x20	w6x20	w6x16	w8x20	w12x16
kl/r	40	40	80	80	120	120	153
b/2tf	6.7	11.5	8.2	8.2	5.0	6.6	7.5
end condition	pined-pined	pined-pined	pined-pined	pined-pined	pined-pined	pined-pined	pined-pined
Py-exp(KN)	1379	986	1050	1050	943	1108	1258
Pcr-exp(KN)	1170	895	895	676	498	423	414
$\Delta_{comp-max}$ (mm)	-32.8	-32	-51.6	-58.2	-56.7	-65	-78
$\Delta_{tens-max}$ (mm)	24.3	16.6	42.6	39.8	29	25.3	76.4
$(\Delta_{cmax}/\Delta_c)_{exp}$	<u>17.5</u>	<u>14.1</u>	<u>14.6</u>	<u>21.7</u>	<u>24.2</u>	<u>32.9</u>	<u>39.0</u>
$(\Delta_{cmax}/\Delta_y)_{exp}$	<u>14.9</u>	<u>12.8</u>	<u>12.4</u>	<u>14.0</u>	<u>12.8</u>	<u>12.5</u>	<u>12.8</u>
$(\Delta_{tmax}/\Delta_y)_{exp}$	<u>11.0</u>	<u>6.6</u>	<u>10.3</u>	<u>9.6</u>	<u>6.5</u>	<u>4.9</u>	<u>12.6</u>
$(\Delta_{cmax}/\Delta_c)_{fema356}$	<u>8</u>	<u>8</u>	<u>8</u>	<u>8</u>	<u>8</u>	<u>8</u>	<u>8</u>
$(\Delta_{tmax}/\Delta_y)_{fema356}$	<u>10</u>	<u>10</u>	<u>10</u>	<u>10</u>	<u>10</u>	<u>10</u>	<u>10</u>



شکل ۱۴: مقایسه ی شکل پذیری در فشار به دست آمده از آزمایش با شکل پذیری نظیر حد آستانه ی فروریزش در Fema356



شکل ۱۵: مقایسه ی شکل پذیری در کشش به دست آمده از آزمایش با شکل پذیری نظیر حد آستانه ی فروریزش در Fema356  
 با توجه به جدول ۲ و شکل های ۱۴ و ۱۵ و با نظر به این مطلب که هیچ کدام از این نمونه ها تا حد خرابی پیش نرفته اند، دیده می شود که شکل پذیری در فشار نمونه های با مقطع I شکل تا حدود بسیار زیادی بالاتر از حدود ارائه شده در ضوابط بهسازی لرزه ای است. از این رو استفاده از مقاطع I شکل در سازه ها می تواند عملکرد بسیار مناسبی را در طی زلزله برای سازه در بر داشته باشد.

قابل ذکر است که نمونه ی Specimen W1 که در جدول ۲ و شکل های ۱۴ و ۱۵ به همراه نمونه های گزارش UCB/EERC80-40 آورده شده است، از مطالعات Kanvinde(2006) آورده شده است که در ادامه خصوصیات آن به صورت مفصل بیان می گردد.

## ۴.۲ مطالعات Goel و Gugerli در سال ۱۹۸۲ بر روی مقاطع I شکل دوسر-

### گیردار:

این مطالعه با عنوان گزارش UMEE82R1 در سال ۱۹۸۰ در دانشگاه میشیگان تحت سرپرستی Goel و Gugerli انجام گرفته است.

در این قسمت نمونه‌های با مقطع H و I شکل آزمایش شده توسط ایشان بررسی گردیده است.

در جدول ۳، مشخصات ابعادی نمونه‌های آزمایش شده در این گزارش آورده شده است.

جدول ۳: مشخصات نمونه های دوسرگیردار آزمایش شده در گزارش

specimen	ww1	ww3	ww4	ww5	ww6
section	W10X15	W5X15.5	W8X15	W6X9	W6X20
KL/r	117	74	108	105	63
A(cm <sup>2</sup> )	28.45	30.4	28.6	17.3	37.9
h(cm)	25.4	12.7	20.6	15	15.75
bf (cm)	10.2	12.7	10.2	10	15.3
tf (cm)	0.68	0.91	0.8	0.55	0.93
tw(cm)	0.58	0.61	0.62	0.43	0.66
L(cm)	360	360	360	360	360
bf/tf	7.5	7.0	6.4	9.1	8.2

جدول ۴: مقایسه رفتار نمونه های دوسرگیردار آزمایش شده در گزارش UMEE82R1

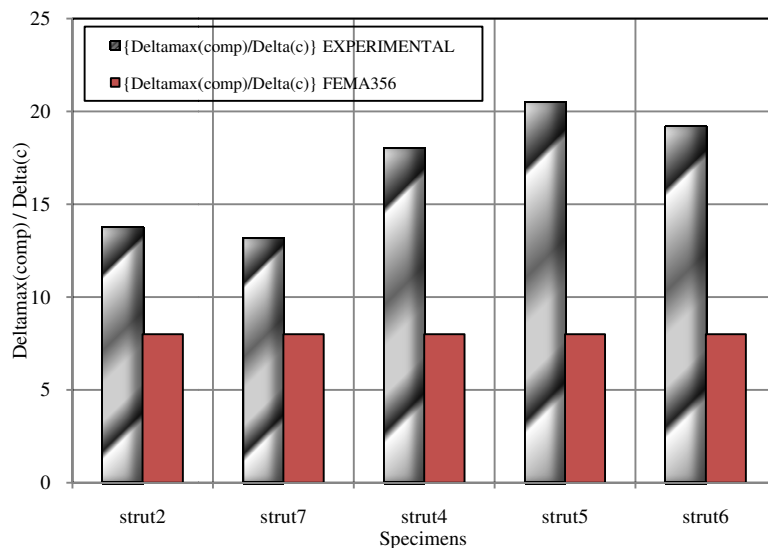
specimen	ww6	ww3	ww5	ww4	ww1
section	w6x20	w5x15.5	w6x9	w8x15	w10x15
kl/r	63	74	105	108	117
b/2tf	8.2	11.5	9.2	6.4	7.4
end condition	fixed-fixed	fixed-fixed	fixed-fixed	fixed-fixed	fixed-fixed
Py(KN)	1175.9	852.6	572.7	828.3	883.4
Per-exp(KN)	1034.4	809.7	349.2	554.7	551.9
$\Delta_{cmax}$ (mm)	-67.6	-65.2	-65.6	-71.7	-67
$\Delta_{tmax}$ (mm)	45.8	44.8	44.7	45.4	37.7
$(\Delta_{cmax}/\Delta_c)_{exp}$	<u>13.75</u>	<u>13.16</u>	<u>18.03</u>	<u>20.52</u>	<u>19.2</u>
$(\Delta_{cmax}/\Delta_y)_{exp}$	12.1	12.5	11	13.75	12
$(\Delta_{tmax}/\Delta_y)_{exp}$	<u>8.2</u>	<u>8.6</u>	<u>7.5</u>	<u>8.7</u>	<u>6.75</u>
$(\Delta_{cmax}/\Delta_c)_{fema356}$	<u>8</u>	<u>8</u>	<u>8</u>	<u>8</u>	<u>8</u>
$(\Delta_{tmax}/\Delta_y)_{fema356}$	<u>10</u>	<u>10</u>	<u>10</u>	<u>10</u>	<u>10</u>



با نگاهی به جدول ۳ دیده می‌شود که:

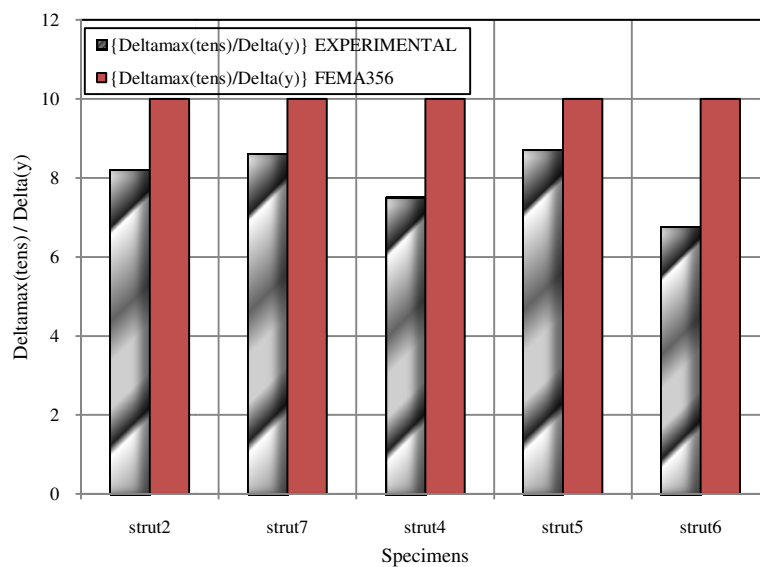
- نمونه‌ها دارای لاغری بین ۶۰ تا ۱۲۰ می‌باشند.

- تمامی نمونه‌ها دارای مقطعی تقریباً فشرده بوده و نسبت  $b/2t_f$  نزدیک به همدیگر دارند.



شکل ۱۶: مقایسه شکل پذیری فشاری بدست آمده از آزمایش UMEE82R1 با شکل پذیری نظیر حد آستانه فروریزش در

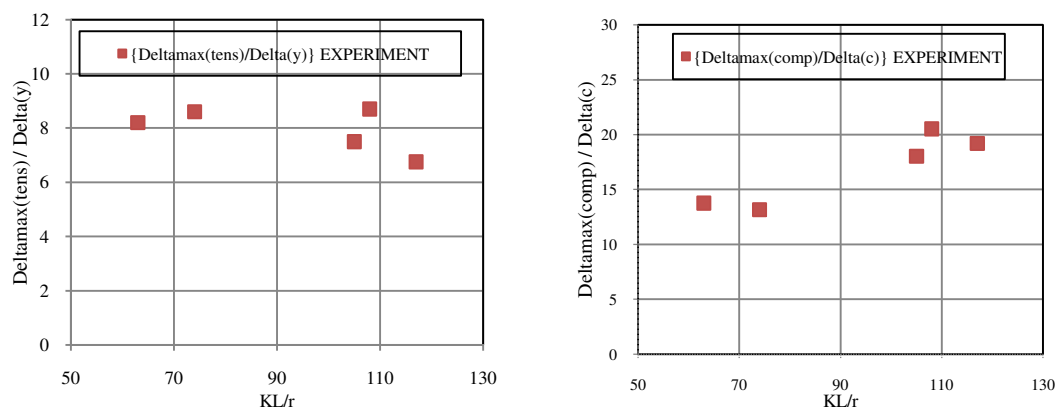
#### Fema356



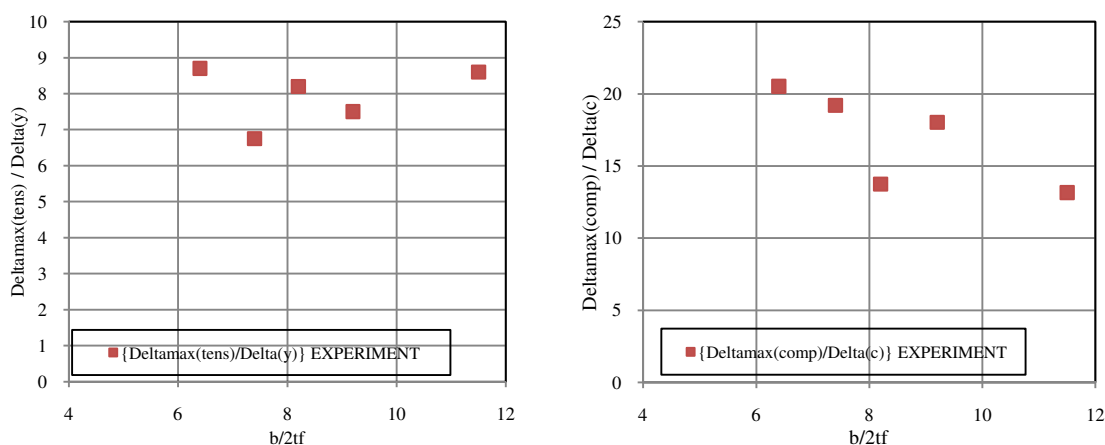
شکل ۱۷: مقایسه شکل پذیری کششی بدست آمده از آزمایش UMEE82R1 با شکل پذیری نظیر حد آستانه فروریزش در

#### Fema356

نتایج ارائه شده در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ و جدول ۴ نشان از برتری بسیار زیاد شکل‌پذیری واقعی این نمونه‌ها بر پیشنهادات آئین‌نامه‌ها دارد و رفتار مناسبی را براساس این آزمایشات، از این نوع مقطع بایستی انتظار داشته باشیم.



شکل ۱۸: اثر لاغری بر شکل‌پذیری نمونه‌های آزمایش UMEE82R1



شکل ۱۹: اثر نسبت عرض به ضخامت ( $b/2tf$ ) بر شکل‌پذیری نمونه‌های آزمایش UMEE82R1

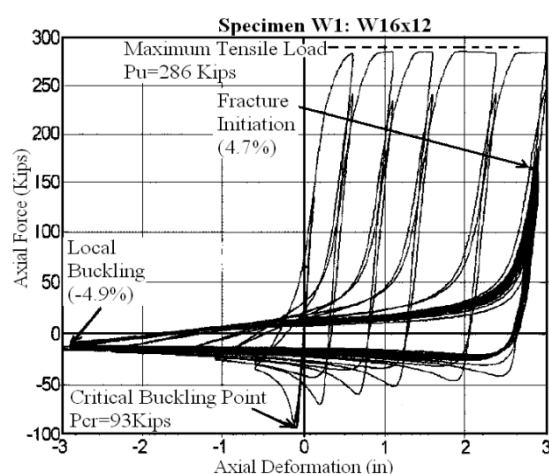
## ۵.۲ مطالعات Kanvinde در سال ۲۰۰۶ بر روی مقاطع بادبندی دوسر مفصل:

در مطالعه‌ای که توسط ایشان در سال ۲۰۰۶ بر روی اعضای بادبندی منفرد دو سر مفصل صورت گرفت، اعضای با مقطع لوله‌ای، قوطی و I شکل تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار داده شدند. نکته‌ی بسیار مورد توجه در این مطالعه آن است که نمونه‌ها تا رسیدن به خرابی بارگذاری شده‌اند و لذا می‌توان شکل‌پذیری نهائی این مقاطع را با آئین‌نامه‌ها مقایسه نمود. تنها نمونه‌ی I شکلی که مورد آزمایش قرار داده شد، به نام Specimen W1 نام‌گذاری شده بود و بهترین رفتار را از خود نشان داد. این نمونه دارای ضریب لاغری برابر ۱۵۳ بوده است.

در جدول ۵ و شکل ۲۰، به ترتیب مشخصات ابعادی و رفتار چرخه‌ای بدست آمده از بارگذاری نمونه، نشان داده شده است. البته رفتار این نمونه به همراه نمونه‌های گزارش UCB/EERC80-40 در جدول ۲ و شکل‌های ۱۴ و ۱۵ در بندهای قبل مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۵: خصوصیات نمونه ی آزمایش شده توسط Kanvinde

specimen	section	k/r	A(cm <sup>2</sup> )	h(cm)	b(cm)	tf(cm)	tw(cm)	L(cm)	end condition	b/2tf
specimenW1	w12x16	153	30.4	30.5	10	0.67	0.56	300	pined-pined	7.5



شکل ۲۰: رفتار چرخه ای Specimen W1

## ۶.۲ بررسی رفتار نمونه های بادبندی تحت بارگذاری محوری چرخه ای توسط

### Bunzo Tsuji

#### ۱.۶.۲ رفتار نمونه های بال پهن

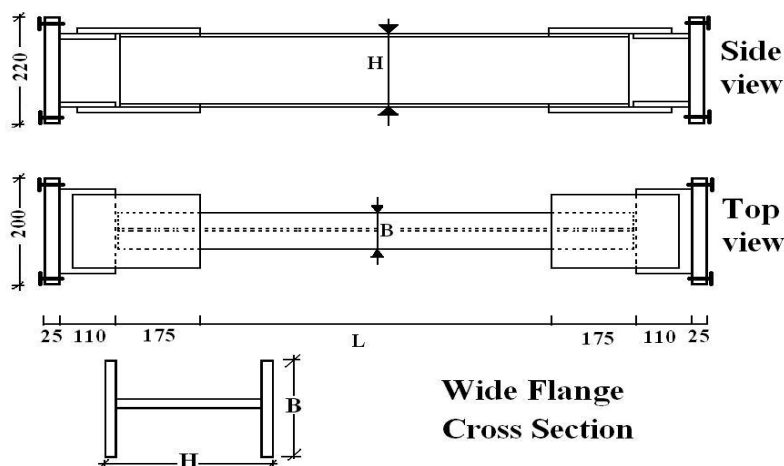
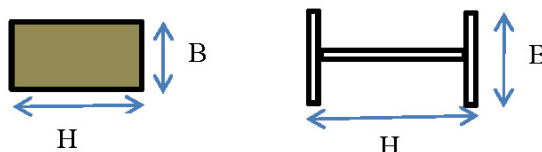
در جدول ۶ خصوصیات این اعضا نمایش داده شده است. در این آزمایشات، دو دسته نمونه‌ی بال پهن و مستطیلی توپر تحت بارگذاری چرخه‌ای استاتیکی مورد بررسی قرار داده شده‌اند. هدف اصلی در این آزمایشات به گونه‌ای بحث بر اثر لاغری و نسبت عرض به ضخامت بر رفتار این نمونه‌ها است.

اعضای بال پهن استفاده شده دارای مقطع نور دیده نبوده و به صورت ساختگی مورد استفاده قرار گرفته اند. در شکل ۲۱، جزئیات این نمونه ها نشان داده شده است. اتصال انتهائی به گونه ای است که دو انتهای گیردار را رقم می زند و کمانش عضو نیز حول محور ضعیف مقطع بال پهن خواهد بود.

جدول ۶: نمونه های بادبندی تحت بارگذاری محوری چرخه ای در آزمایشات Tsuji

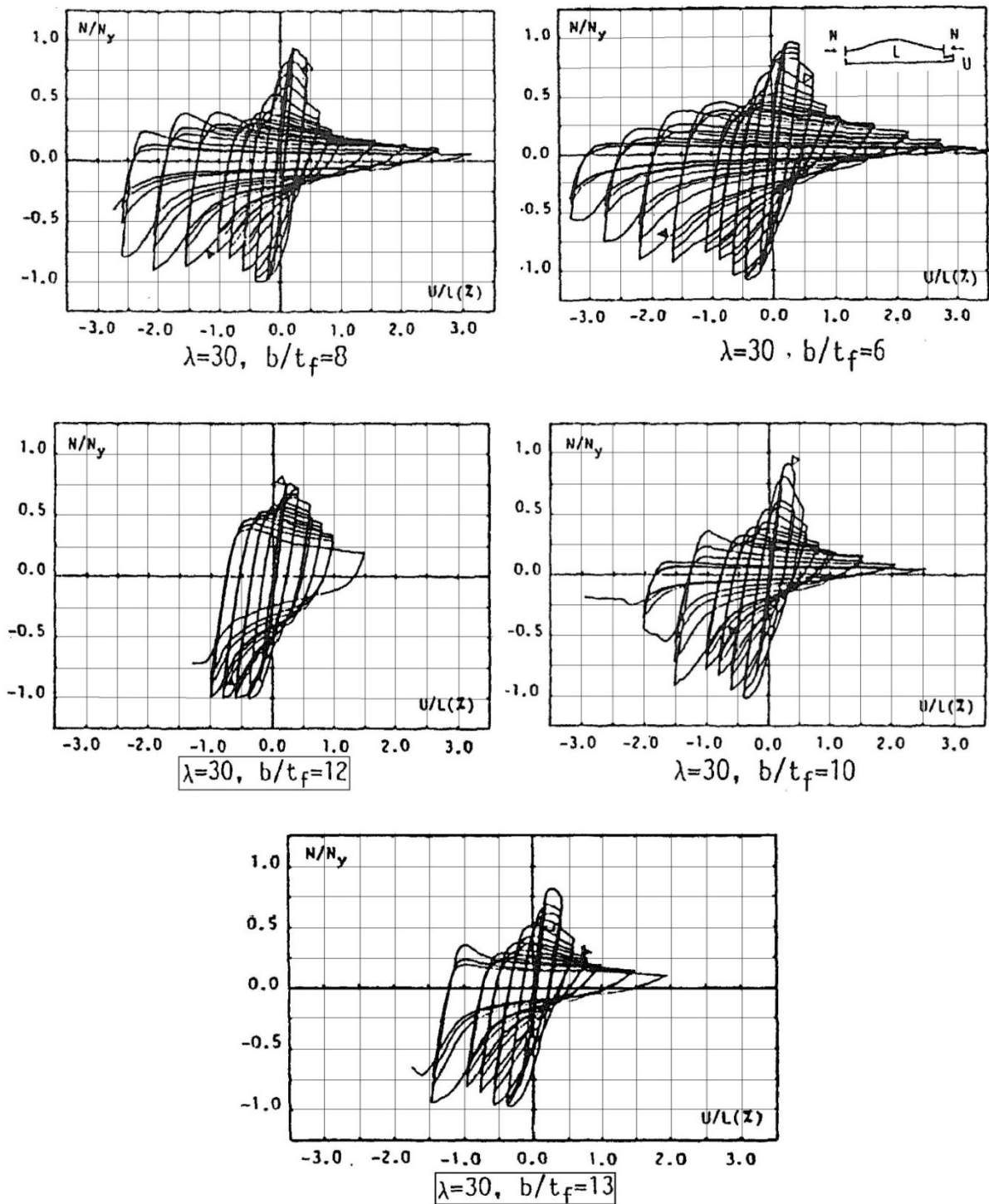
section	$\lambda$	b/tf	B	H	Loading condition
Wide Flange	30	6	50	100	M,C
		8	50	100	M,C
		10	60	100	M,C
		12	70	100	M,C
		13	80	100	M,C
	60	6	50	100	M,C
		8	50	100	M,C
	90	6	50	100	M,C
8		50	100	M,C	
Rectangular	30	-	12	30	C
	60	-	12	30	C
	90	-	12	30	C

$\lambda$ : Slenderness ratio  
M: Monotonic Loading  
C: Cyclic Loading

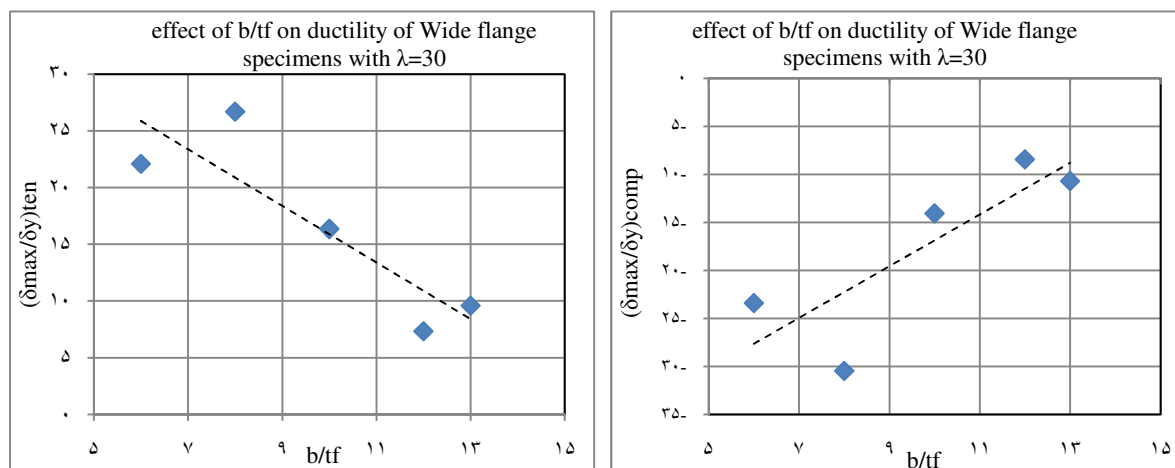


شکل ۲۱: دتایل نمونه های بادبندی با مقطع بال پهن

در شکل ۲۲، رفتار چرخه ای نمونه های بادبندی با مقطع بال پهن با لاغری برابر ۳۰ و با نسبت عرض به ضخامت متفاوت نشان داده شده است. در شکل ۲۳ نیز مقایسه ای بین این نمونه ها نشان داده شده است. با توجه به این اشکال، کاملاً این نکته واضح است که با افزایش b/t، شکل پذیری عضو کاسته می گردد.



شکل ۲۲: اثر نسبت عرض به ضخامت بر رفتار چرخه ای نمونه های بادبندی چاق ( $\lambda=30$ )

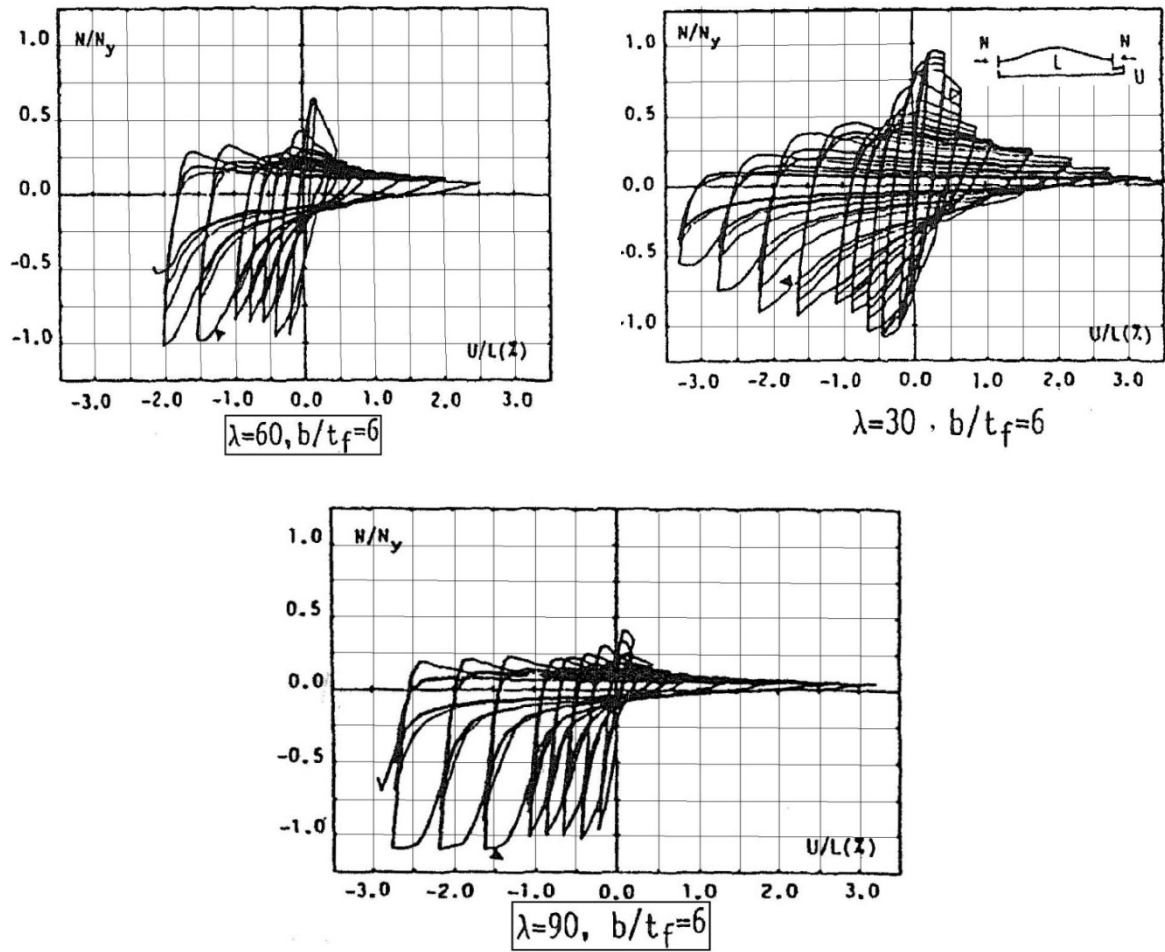


شکل ۲۳: اثر نسبت عرض به ضخامت بر شکل پذیری عضو بادبندی بال پهن با لاغری ثابت ( $\lambda=30$ )

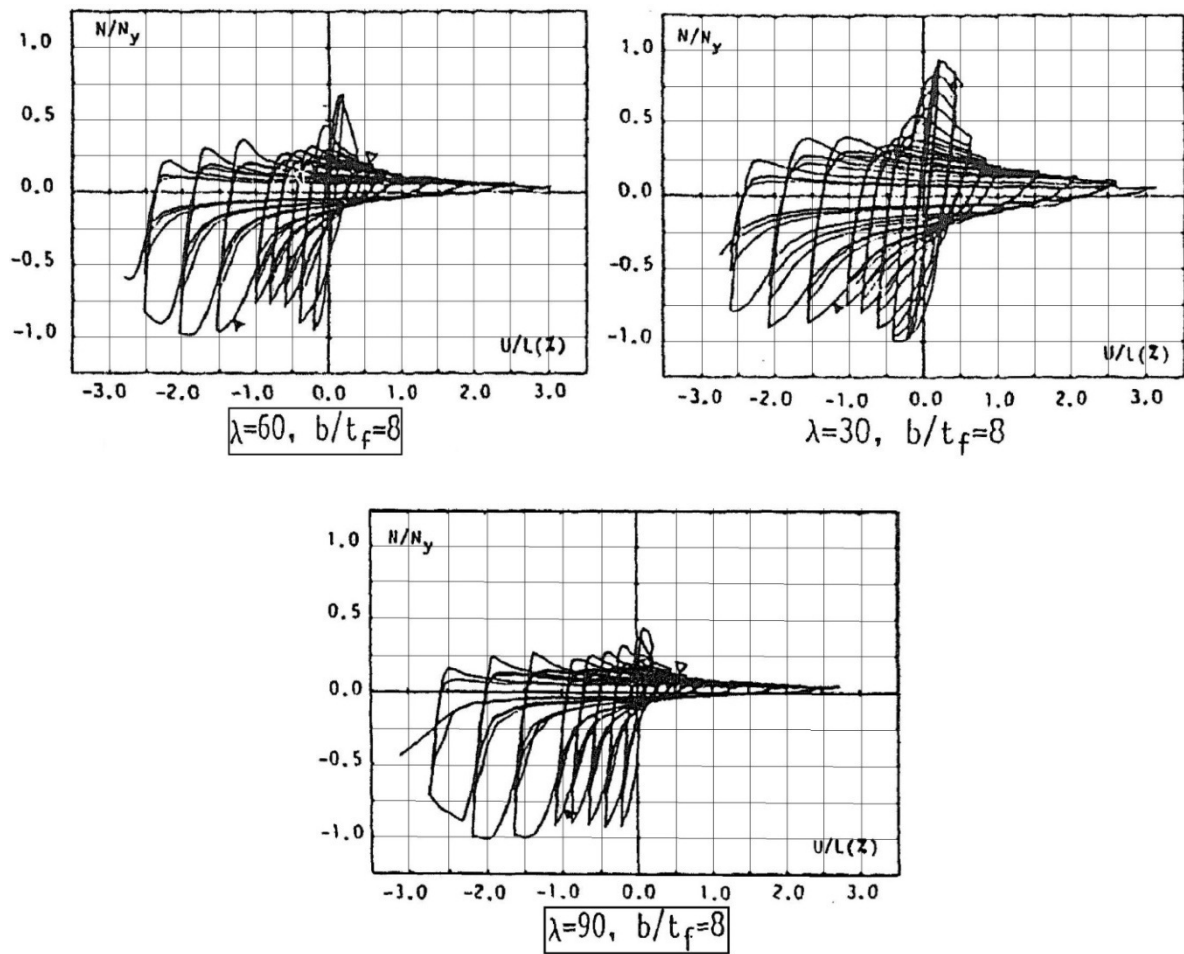
در ادامه، اثر لاغری بر رفتار بادبندهای با مقطع بال پهن تحت بارگذاری چرخه‌ای استاتیکی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در شکل ۲۴ و شکل ۲۵، به ترتیب رفتار چرخه‌ای نمونه‌های با نسبت عرض به ضخامت ۸ نشان داده شده است و در شکل ۲۶، نیز رفتار این نمونه‌ها مورد مقایسه قرار گرفته تا برای نمونه‌های با  $b/t$  ثابت، اثر لاغری بر رفتار بررسی گردد.

این نمودارها نشان می‌دهد که:

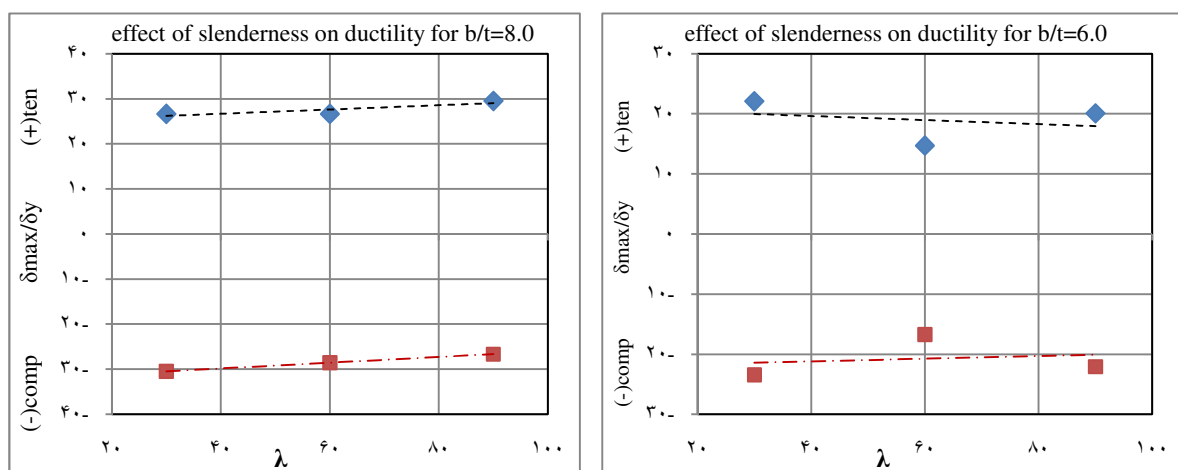
- برای بادبندهای با  $b/t$  ثابت، ضریب لاغری اثر چندانی بر افزایش و کاهش شکل‌پذیری ندارد.
- نکته‌ی بسیار مهم دیگر آن است که تمامی نمونه‌های با مقطع بال پهن دارای شکل‌پذیری بسیار بالا در کشش و فشار می‌باشند تا آنجایی که اکثراً دارای میزان شکل‌پذیری بیش از  $15\delta_y$  می‌باشند و در برخی از نمونه‌ها که دارای  $b/t$  مناسب باشند، میزان شکل‌پذیری به بیش از  $30\delta_y$  نیز می‌رسد.
- مقادیر شکل‌پذیری بین  $15\delta_y-30\delta_y$  که برای این نمونه‌ها ثبت شده است به میزان قابل توجهی بیشتر از نتایج آزمایشاتی است که بر روی سایر مقاطع صورت گرفته است.



شکل ۲۴: رفتار نمونه های بادبندی با مقطع بال پهن با  $b/t=6.0$  و لاغری متغیر



شکل ۲۵: رفتار نمونه های بادبندی با مقطع بال پهن با  $b/t=8.0$  و لاغری متغیر



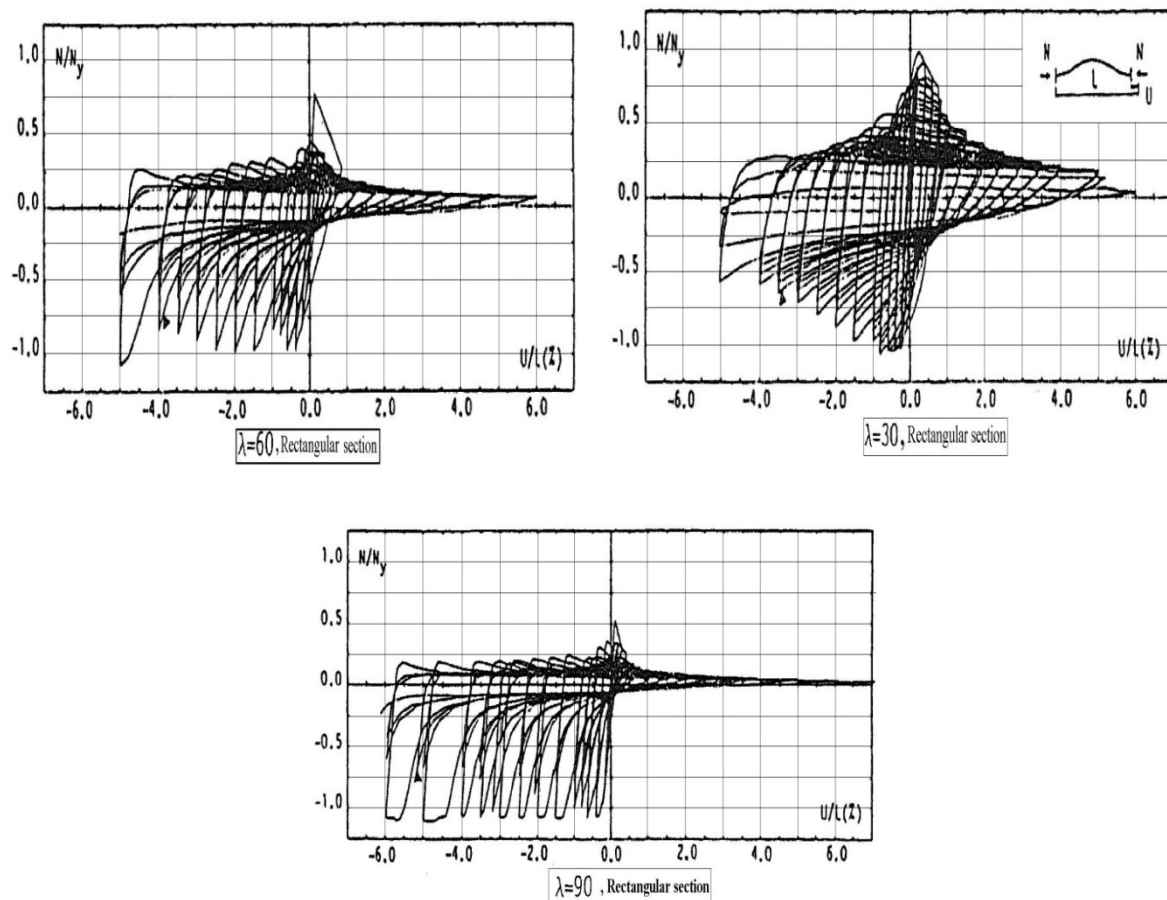
شکل ۲۶: اثر لاغری بر شکل پذیری عضو بادبندی بال پهن



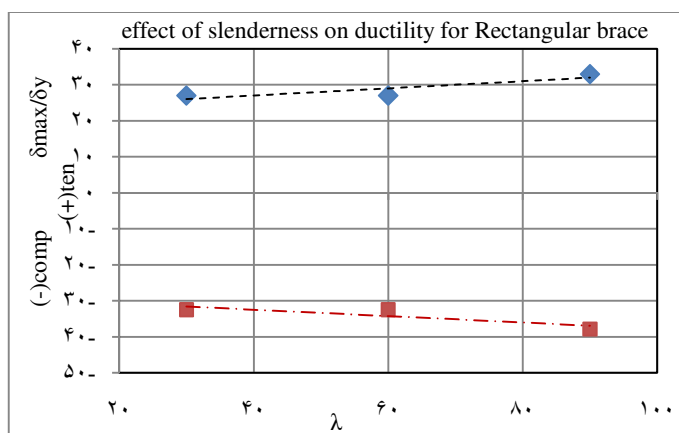
## ۲.۶.۲ رفتار نمونه های با مقطع مستطیلی توپر

چنانچه نتایج این آزمایشات در شکل ۲۷ نشان می‌دهد، این نمونه‌ها، که در دسته‌ی نمونه‌های میلگردی قرار می‌گیرند و دارای لاغری بسیار بالائی هستند، دارای رفتاری بسیار شکل‌پذیر بوده و پدیده‌ی کماتش موضعی در آن‌ها به تأخیر افتاده است. شکل ۲۸ نشان می‌دهد که افزایش لاغری در این نمونه‌ها نه تنها شکل‌پذیری را نمی‌کاهد بلکه موجب افزایش کمی هم در آن می‌شود.

نکته‌ی مهم دیگر درباره‌ی این مقاطع، شکل‌پذیری بسیار بالای آن‌ها در کشش و فشار می‌باشد. تمامی سه نمونه - ی آزمایش شده دارای میزان شکل‌پذیری بیش از  $30\delta_y$  می‌باشند و این مقداری بسیار قابل توجه است که مقاطع دیگر به ندرت می‌توانند به این میزان برسند. البته باز این نکته قابل ذکر است که این آزمایشات شبه استاتیکی بوده و برای بررسی رفتار این نمونه‌ها تحت بار لرزه‌ای و اثر مثبت یا منفی پدیده‌ی ضربه در اعضای با لاغری بالا نمی‌توان استناد قابل قبولی نمود.



شکل ۲۷: رفتار چرخه ای نمونه های بادبندی با مقطع مستطیلی توپر

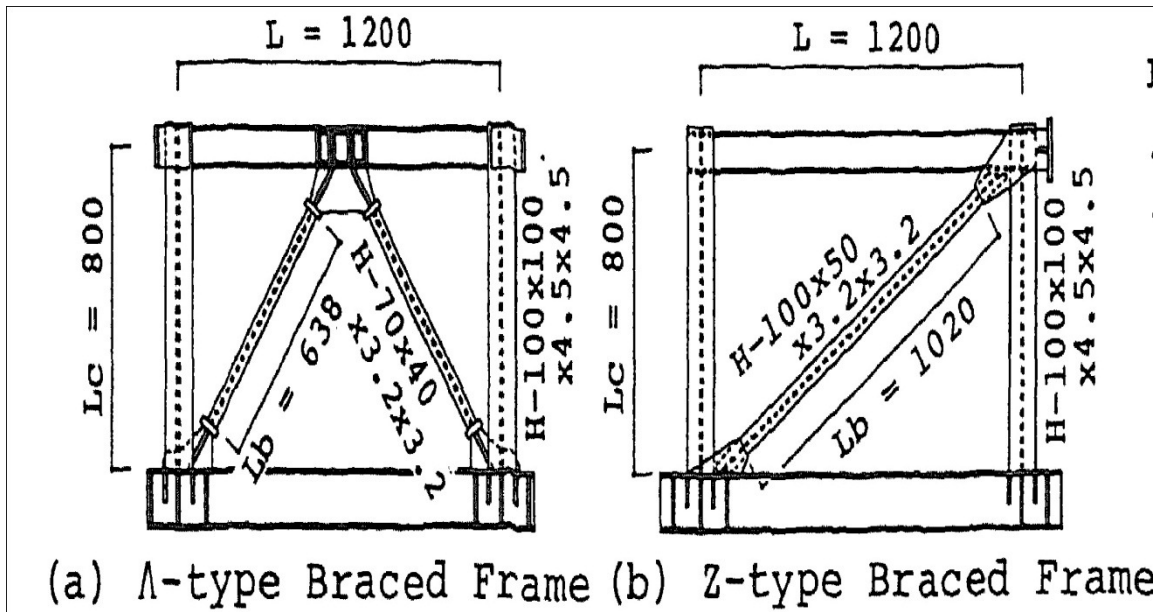


شکل ۲۸: اثر لاغری بر شکل پذیری عضو بادبندی با مقطع مستطیلی توپر

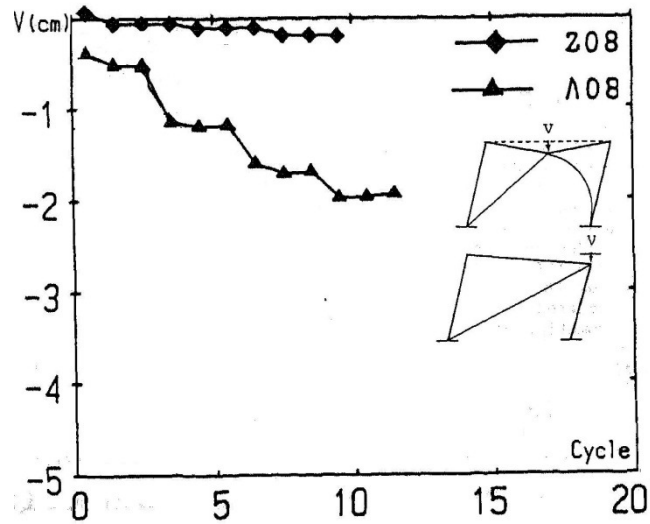
## ۷.۲ مطالعات آقایان Tsuji و Nishino بر روی نمونه های قابی و بادبندهای با

### مقطع بال پهن

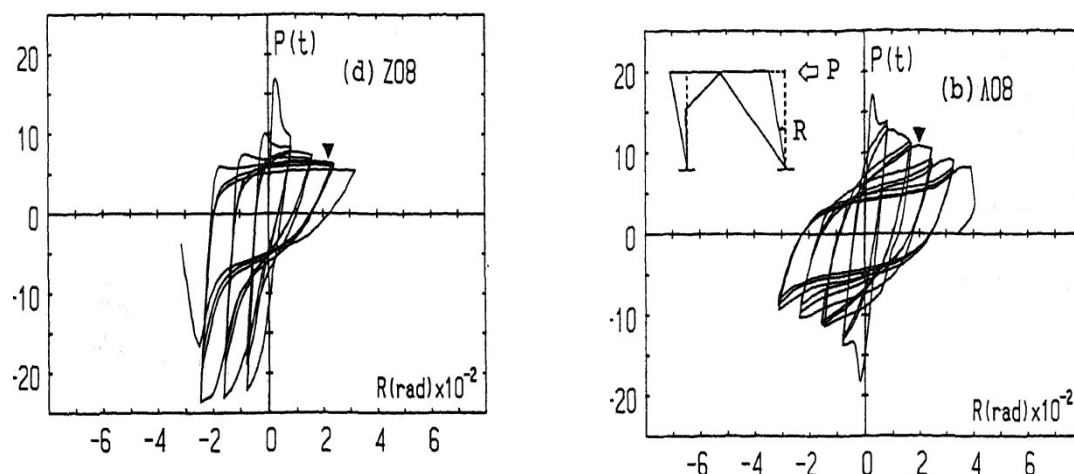
در این مطالعه، رفتار دو شکل قاب بادبندی  $\Lambda$  و  $Z$  با بادبندهای با مقطع بال پهن مورد بررسی قرار گرفته است. البته از آنجایی که هدف ما بیشتر بررسی رفتار نمونه های منفرد است، از تفصیل این بحث خودداری می نماییم. در این آزمایش سه نمونه قاب  $\Lambda$  شکل و یک نمونه قاب  $Z$  شکل مورد آزمون قرار گرفته اند. در آزمایشات ایشان، این گونه بیان می گردد که: بادبندهای  $Z$  شکل دارای سختی بیشتری بوده ولی به علت قرار گرفتن تحت نیروهای کششی سنگین، زودتر دچار گسیختگی می شوند درحالی که قاب بادبندی  $\Lambda$  شکل دارای شکل پذیری بسیار بیشتری نسبت به نمونه ی  $Z$  شکل می باشد ولی از نظر نیروی برشی ماکزیمم طبقه و سختی در رده ی پایین تری قرار دارد. البته هدف اصلی ما از آوردن این آزمایش، رفتار شکل پذیر بادبندهای با مقطع بال پهن می باشد. در این نمونه ها، برای اعضای با مقطع بادبندی بال پهن، شکل پذیری بین  $8\delta_y$  تا  $10\delta_y$  ثبت شده است.



شکل ۲۹: شمای قاب های آزمایش شده توسط Nishinu, Tsuji



شکل ۳۰: مقایسه ی تغییر شکل قائم دو نوع قاب آزمایش شده



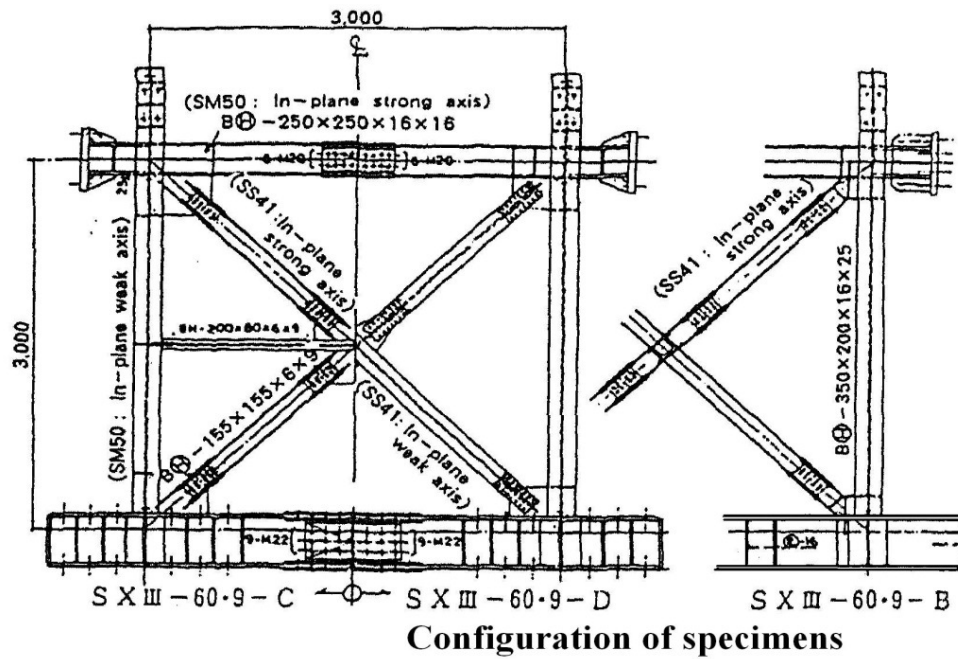
شکل ۳۱: رفتار چرخه ای نمونه های بادبند بال په‌ن در دو قاب مختلف

## ۸.۲ مطالعات آقایان Takahashi Yasuhiko و Nakamura Noriyoshi و Kato

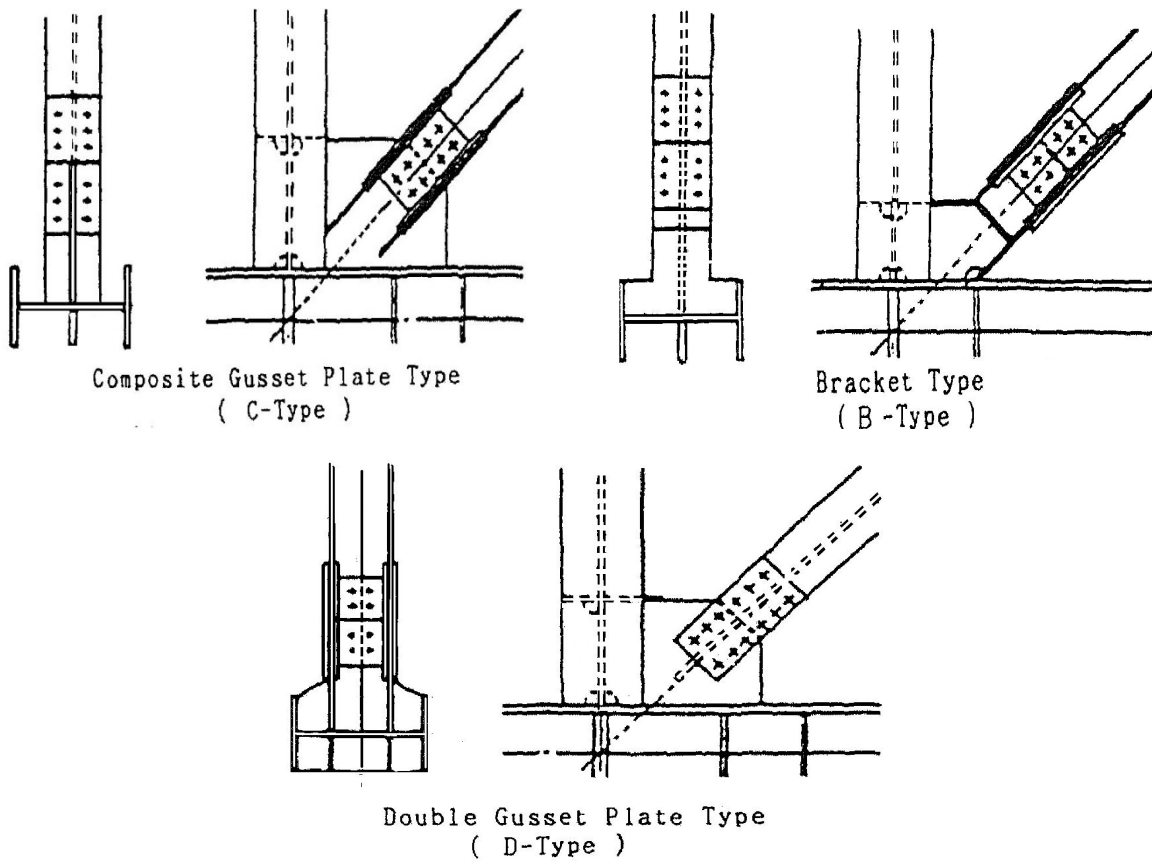
### Ben تحت سرپرستی دانشگاه توکیو

در این سری آزمایش، نمونه‌های بال‌پهن به عنوان عضو بادبندی در قاب فولادی استفاده شده‌اند. در این قاب‌ها بادبندها به صورت ضربدری نصب گردیده و در وسط دارای اتصال می‌باشند. هدف اصلی در این آزمایش بررسی رفتار سه نوع اتصال بادبند بال‌پهن به تیر و ستون بوده و از این رو سه دتایل اتصال تحت آزمون قرار داده شده‌اند. در شکل ۳۲ جزئیاتی از سه نمونه‌ی قاب بادبندی آزمایش شده نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، نمونه‌های با اتصال گاست نوع B, C منجر به ایجاد کمانش برون‌صفحه در بادبندها می‌شود و این درحالی است که نمونه‌های با اتصال گاست نوع D کمانش درون‌صفحه را به دنبال خواهند داشت. در این قاب‌ها، گاست‌های انتهایی به جان ستون H شکل متصل گردیده‌اند و این بدان مفهوم است که کمانش درون‌صفحه‌ی ستون‌ها حول محور ضعیف است. نحوه‌ی قرارگیری تیرها نیز به گونه‌ای است که کمانش درون‌صفحه حول محور قوی است. در شکل ۳۳ جزئیات اتصال بادبندها به تیر و ستون ارائه گردیده است. در جدول ۷ و جدول ۸ نیز نحوه‌ی کمانش و سایر خصوصیات نمونه‌ها به تفصیل بیان شده است.

قابل ذکر است که تمامی این سه نمونه در آزمایش صورت گرفته توسط آقای Atsuo Tanaka نیز مورد آزمایش محوری قرار گرفته است و لذا جزئیاتی نسبتاً دقیق‌تر از این اتصالات در قسمت مربوط به کار ایشان نشان داده خواهد شد. بارگذاری اعمال شده بر اعضا بر طبق تاریخچه‌ی بارگذاری ارائه شده در شکل ۳۴ صورت پذیرفته است.

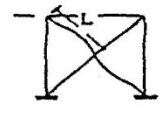
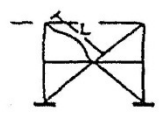



شکل ۳۲: شمائی از نمونه های آزمایش شده توسط Kato Ben و همکارانش



شکل ۳۳: جزئیات اتصال گاست در نمونه های قابی تحت آزمایش

جدول ۷: نحوه ی کماتش قاب های بادبندی شده ی تحت آزمایش

Joint Type	Bracket Type	Composite Gusset Plate Type	Double Gusset Plate Type
Buckling Direction	Out-Of-Plane	Out-Of-Plane	In-Plane
Buckling Mode			
Effective Length	0.65L	0.65L	0.40L

## Buckling Mode

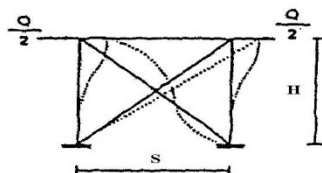
جدول ۸: نمونه های آزمایش شده و نحوه ی نام گذاری آنها

## List Of specimens

Brace Member			Joint Type			Dimensions of Rigid Frame
$\lambda$	$\frac{b}{t_f}$	Section Size	Bracket Type (B Type)	Composite Gusset Plate Type (C Type)	Double Gusset Plate Type (D Type)	
40	6.0	H - 155 × 155 × 6 × 12 ( 35 , 6.5 )	SX II - 40 · 6 - B <sup>③</sup>	---	---	S = H = 2.0m
	9.0	H - 155 × 155 × 6 × 9 ( 36 , 8.6 )	SX II - 40 · 9 - B	---	---	
60	6.0	H - 155 × 155 × 6 × 12 ( 52 , 6.5 )	SX III - 60 · 6 - B	---	---	S = H = 3.0m
	9.0	H - 155 × 155 × 6 × 9 ( 55 , 8.6 )	SX III - 60 · 9 - B	SX III - 60 · 9 - C	SX III - 60 · 9 - D	
	13.0	H - 155 × 155 × 6 × 6 ( 57 , 12.9 )	SX III - 60 · 13 - B	---	---	
80	9.0	H - 110 × 110 × 6 × 6 ( 80 , 9.4 )	SX III - 80 · 9 - B	SX III - 80 · 6 - C	---	
Remarks			Rigid Frame Specimen SO II : S = H = 2.00m SO III : S = H = 3.00m			

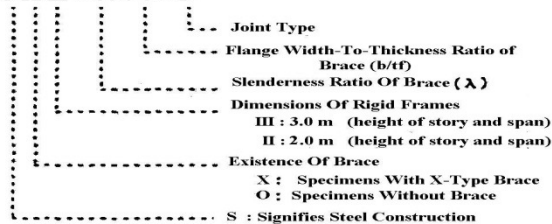
①: Actual Slenderness Ratio

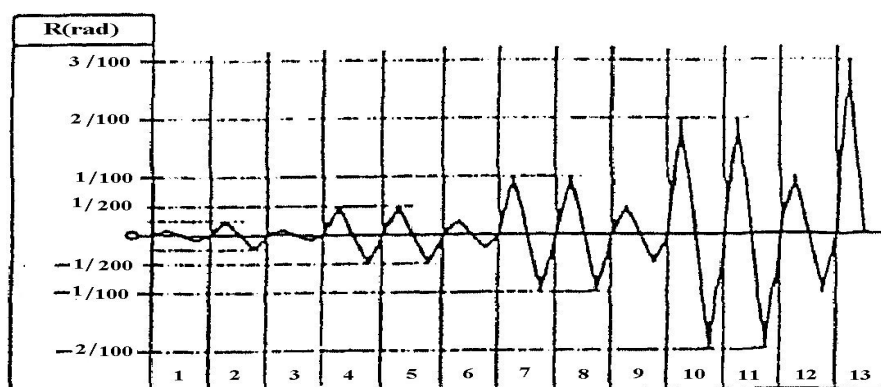
②: Actual Width to Thickness Ratio



③: Meaning Of Specimens Name

Ex.) SX II - 40 · 6 - 8

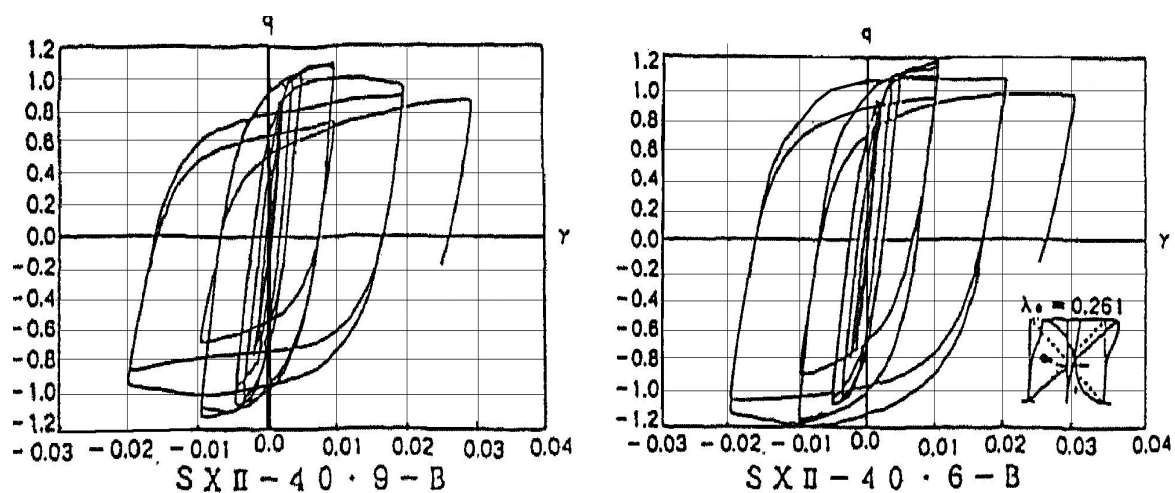




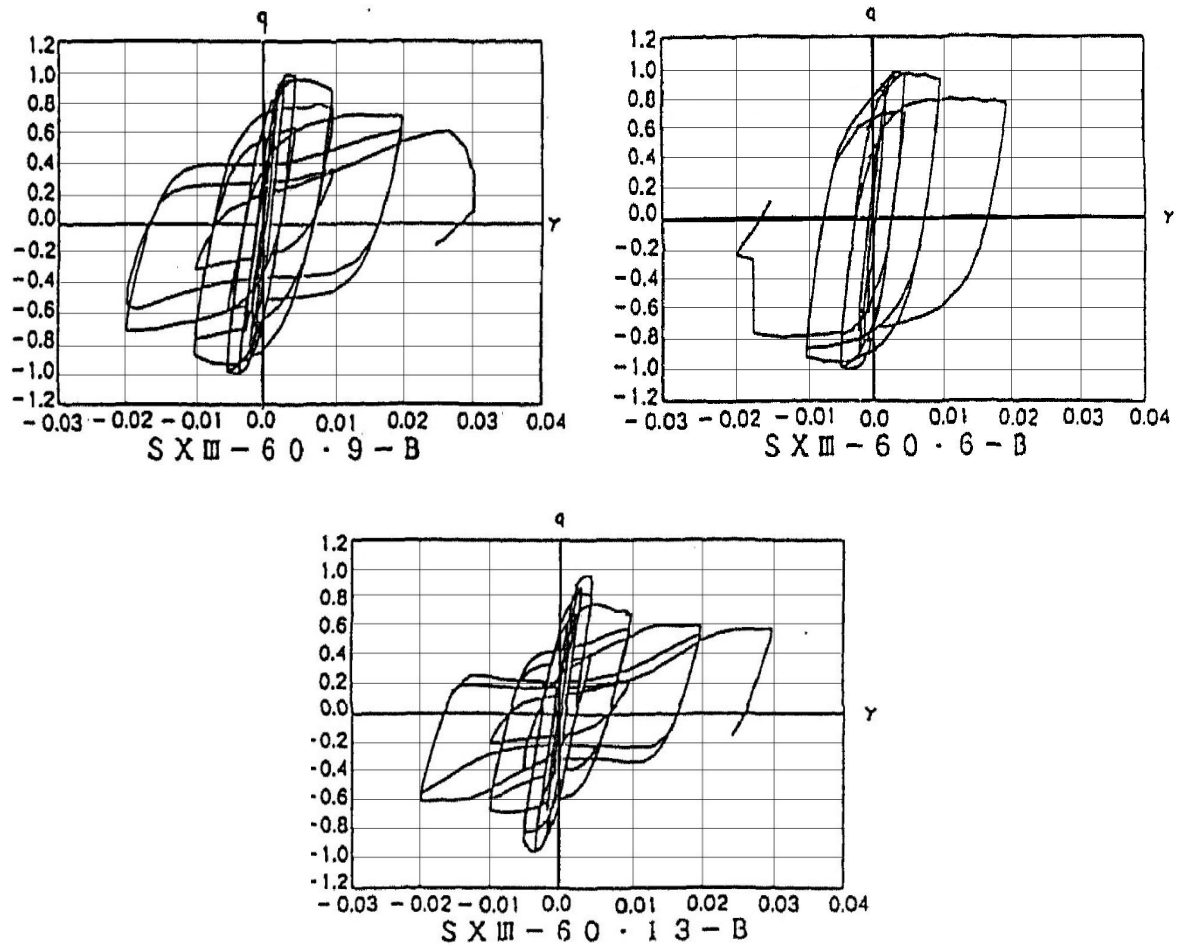
Loading History

شکل ۳۴: تاریخچه ی بارگذاری نمونه ها

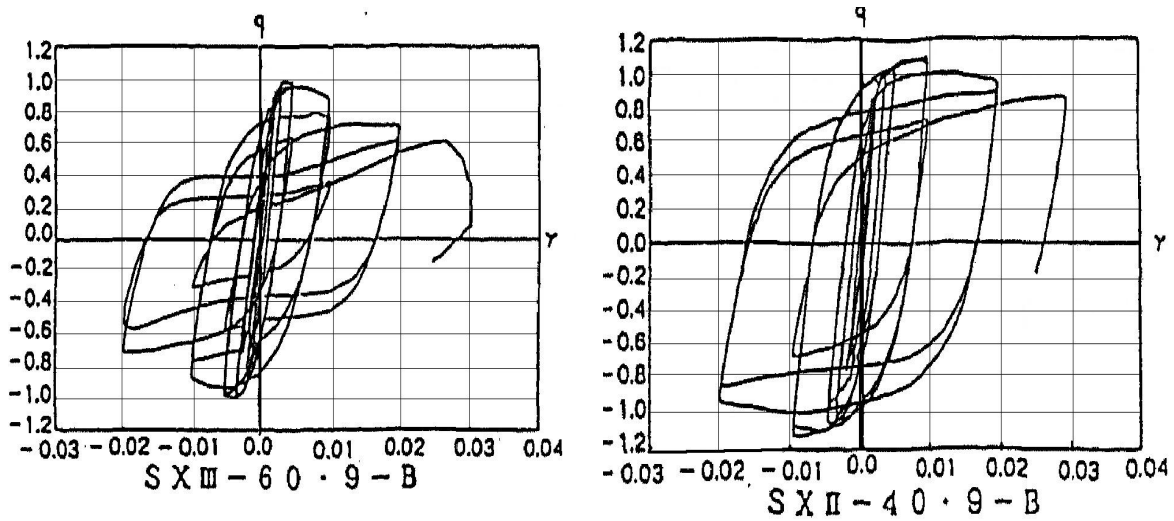
در ادامه، نتایج حاصل از بارگذاری چرخه‌ای نمونه‌ها نشان داده شده است. در نمودارهای مربوط به رفتار چرخه‌ای اعضا، نیروی برشی تحمل شده توسط بادبند (q) در برابر زاویه‌ی تغییرشکل برشی بادبند (Y) رسم شده است. در شکل‌های ۳۵ و ۳۶، اثر نسبت عرض به ضخامت بر رفتار اعضای با لاغری ثابت بررسی گردیده است. در شکل‌های ۳۷ و ۳۸ نیز به ترتیب اثر ضریب لاغری و نوع اتصال بر رفتار چرخه‌ای نمایش داده شده است.



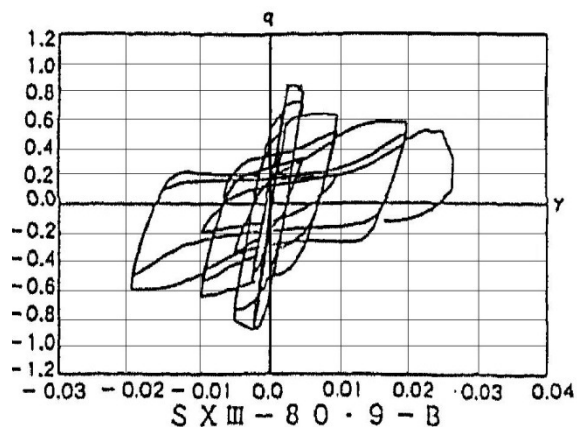
شکل ۳۵: اثر نسبت عرض به ضخامت بر باربری و شکل پذیری قاب های بادبندی شده با لاغری بادبند ثابت ( $\lambda=40$ )



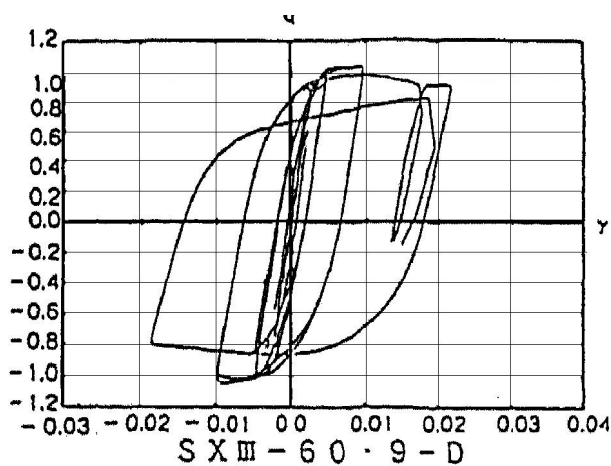
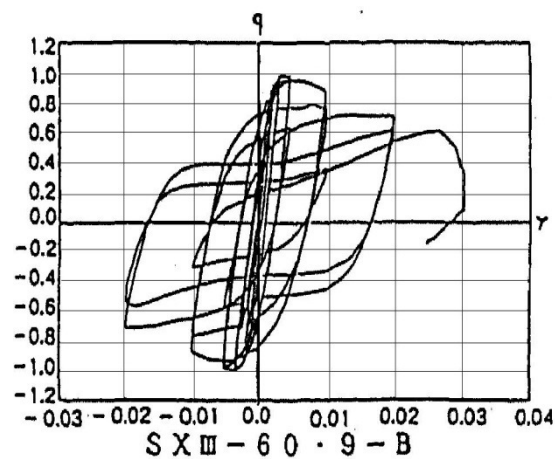
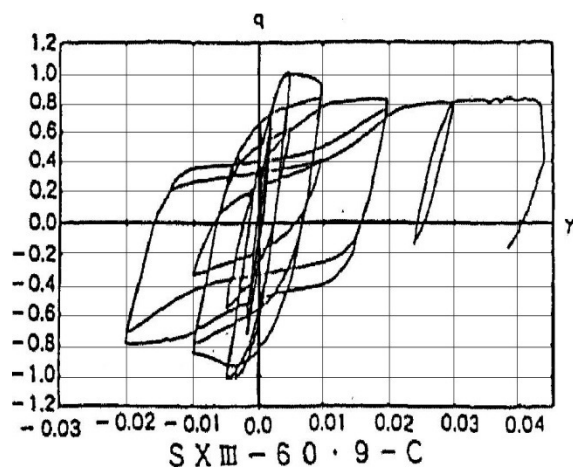
شکل ۳۶: اثر نسبت عرض به ضخامت بر باربری و شکل پذیری قاب های بادبندی شده با لاغری بادبند ثابت ( $\lambda=60$ )







شکل ۳۷: اثر ضریب لاغری بر باربری و شکل پذیری قاب های بادبندی شده با سایر پارامترهای ثابت

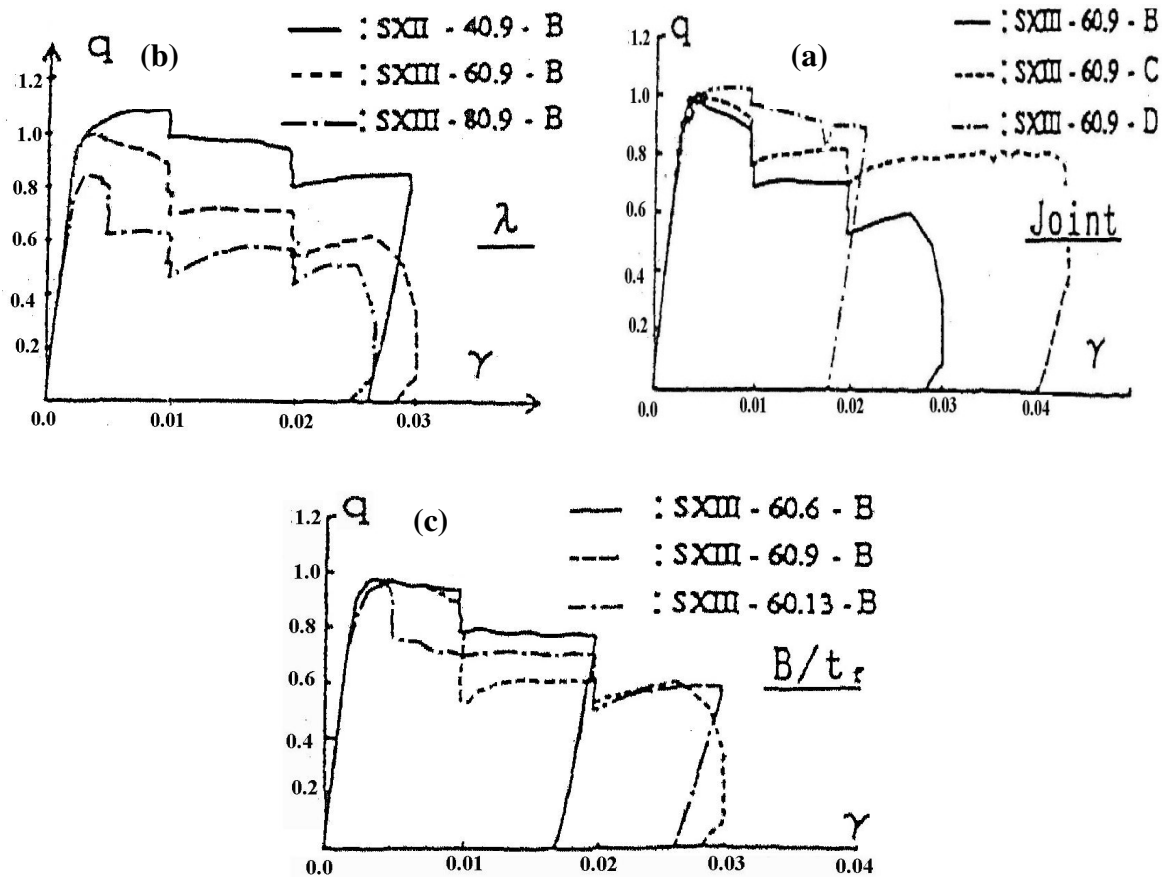


شکل ۳۸: اثر نوع اتصال بر باربری و شکل پذیری قاب های بادبندی شده

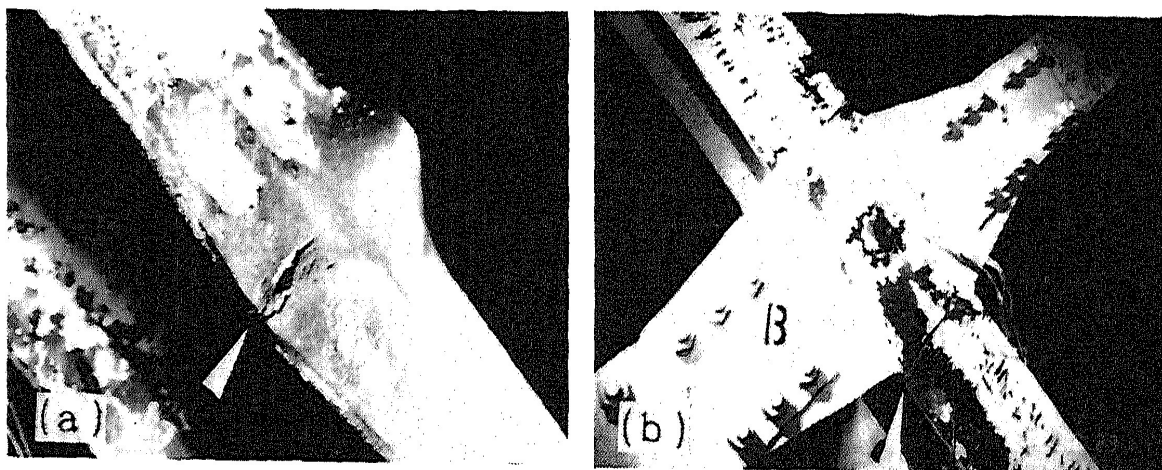
از مقایسه‌ی نتایج حاصل از این آزمایش، پوش منحنی رفتار چرخه‌ای مقایسه گردیده است تا به وضوح اثر این سه پارامتر اساسی را نشان دهد. (شکل ۳۹) این نمودارها نشان می‌دهد که:

- ۱- افزایش لاغری، سطح زیر منحنی، انرژی اتلافی و نیروی برشی طبقه در چرخه‌های متوالی را می‌کاهد ولی اثر چندانی بر شکل‌پذیری عضو وقاب نداشته و تا حدود کمی افزایش شکل‌پذیری را نیز در بر دارد.
  - ۲- افزایش  $b/t_f$  در قاب‌های با بادبند چاق ( $\lambda=40$ )، اثر کمی در کاهش شکل‌پذیری، سطح زیر منحنی و نیروی برش طبقه دارد ولی در قاب‌های با بادبندی لاغرتر، افزایش این نسبت باعث کاهش سطح زیر منحنی و انرژی اتلافی می‌گردد ولی شکل‌پذیری را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد.
  - ۳- نسبت عرض به ضخامت نقش اساسی در از بین رفتن و افت مقاومت و تغییرشکل عضو دارد.
  - ۴- نوع اتصال گروه D که دارای دو ورق گاست در طرفین بادبند بود، دارای رفتار پایدار<sup>۱</sup> بوده و تا تغییرشکل ۰.۰۲ رادیان بهتر از دو دتایل دیگر رفتار نموده است. البته به علت عدم کفایت جوش اتصال دهنده، این اتصال در این تغییرشکل دچار شکست شد، لذا در صورت کفایت جوش اتصال، این دتایل می‌توانست از نظر شکل‌پذیری هم رفتاری بسیار بهتر از دو دتایل دیگر داشته باشد.
  - ۵- تمامی نمونه‌های قابی آزمایش شده در تغییرشکل بیش از ۰.۰۲ رادیان دچار شکست شده‌اند و این نکته برای قاب‌های بادبندی می‌تواند گریز نسبی مناسبی بوده و شکل‌پذیری مدنظر را فراهم آورد. البته بسیاری از آن‌ها گریز بالای ۰.۰۳ رادیان را دارا هستند و تعداد معدود دیگر نیز در صورت کفایت جوش می‌توانند به این گریز و بیش از آن برسند.
- در شکل ۴۰ رفتار خرابی این قاب‌ها نشان داده شده است. شکل b-۴۰ نشانگر خرابی در نمونه‌ی با اتصال از نوع D است. این خرابی در محل اتصال و به علت ناکافی بودن جوش اتصال بوده است. شکل a-۴۰ نشانگر خرابی در نمونه‌های با لاغری ۸۰ است. این نمونه‌ها از ناحیه‌ی کمانش موضعی دچار خرابی شده‌اند. از این مسأله و سایر اطلاعات شاید این‌گونه بتوان استناد نمود که در اعضای با لاغری بالا، اتصالات کمتر دچار خرابی شده و اعضا به حداکثر مقاومت خود رسیده، آن‌گاه دچار گسیختگی می‌شوند.

<sup>۱</sup> Stable



شکل ۳۹: (a) اثر نوع اتصال بر رفتار قاب (b) اثر لاغری بر رفتار قاب (c) اثر نسبت عرض به ضخامت بر رفتار قاب



شکل ۴۰: (a) خرابی در محل کماتش موضعی (b) گسیختگی اتصال در نمونه های با دوپل گاست

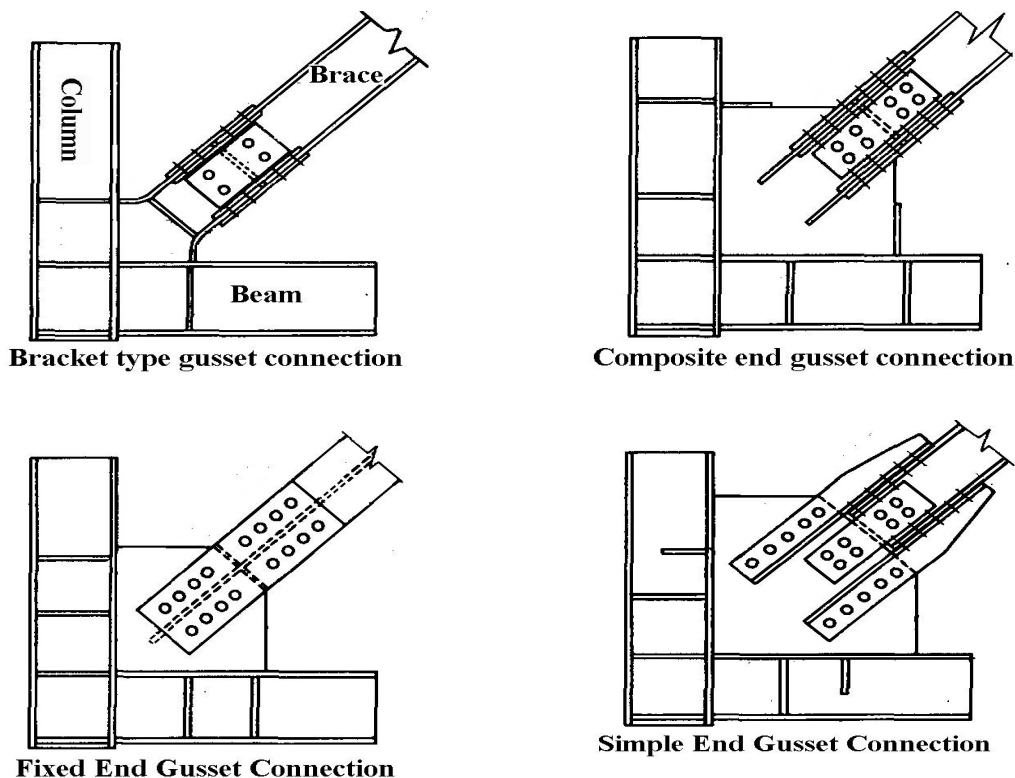
## ۹.۲ مطالعات Atsuo Tanaka در سال ۱۹۸۹ بر روی چهار نوع اتصال گاست

### مقاطع بال پهن

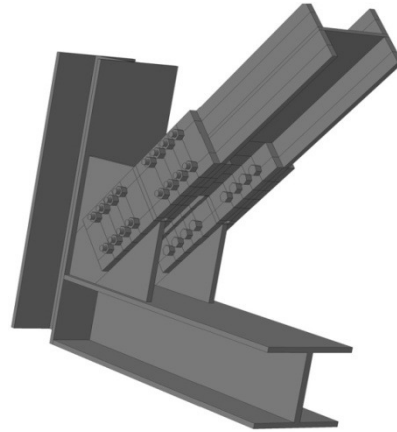
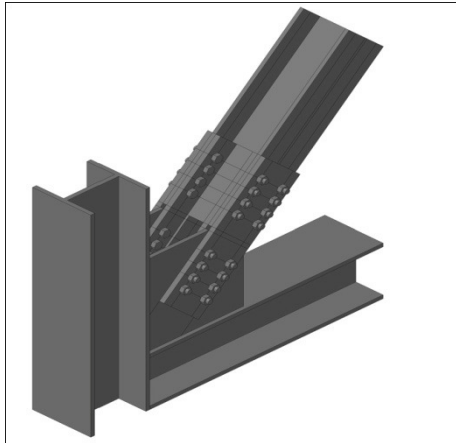
در این آزمایشات، رفتار نمونه‌های بادبندی بال پهن با تکیه بر رفتار ورق‌های اتصال مورد آزمایش تحت بار چرخه‌ای استاتیکی و بار کشش مستقیم قرار داده شده‌اند. در قسمتی از این مطالعه نیز اثر اتصال گاست به بال یا جان ستون بررسی شده است و تفاوت این دو حالت سنجیده شده است.

سه نمونه‌ی اول اتصال گاست که در شکل ۴۱ نشان داده شده‌اند، با نمونه‌های اشاره شده در بند قبل بسیار شبیه بوده و جمع نتایج آزمایشات در مورد این سه اتصال می‌تواند مناسب‌ترین را معرفی نماید. دتایل چهارم نشان داده شده در این شکل، نوعی جدید از این اتصال است که در برخی از توصیه‌نامه‌های فعلی به آن اشاره شده است.

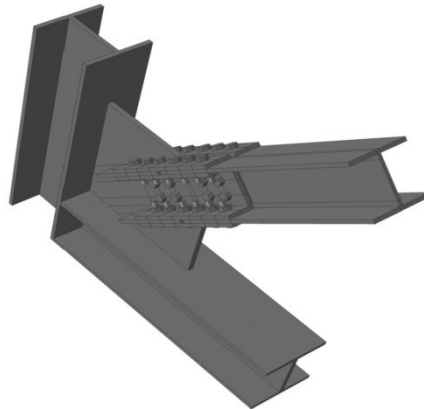
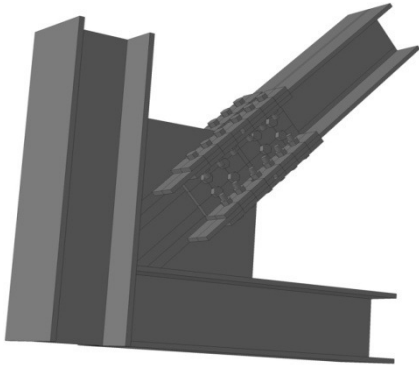
در ادامه، در شکل‌های ۴۳، ۴۲ و ۴۴ نمای سه‌بعدی این اتصالات نشان داده شده است تا تصور بهتری را در رابطه با نوع این اتصالات برای خواننده فراهم آورد. در شکل ۴۵ نیز به اتصال آزمایش شده توسط Chen اشاره شده است.



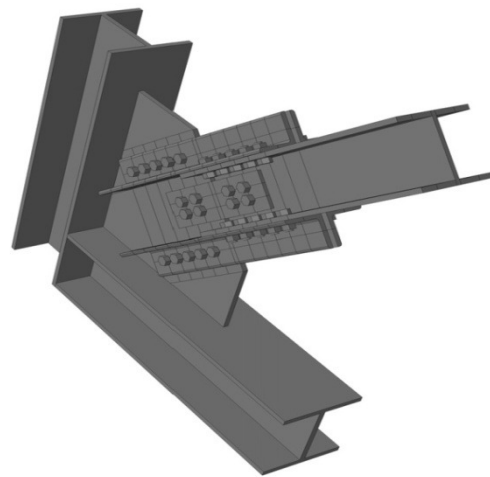
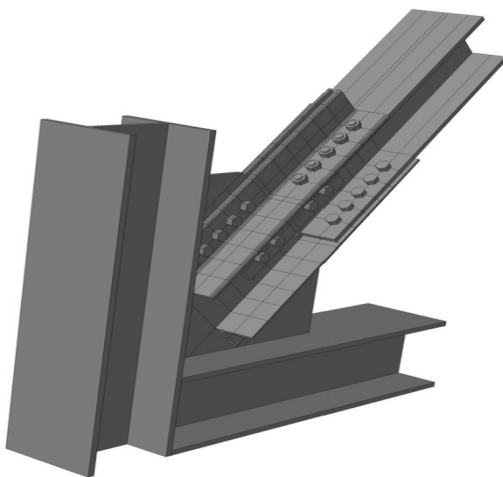
شکل ۴۱: دتایل اتصالات آزمایش شده توسط Atsuo Tanaka



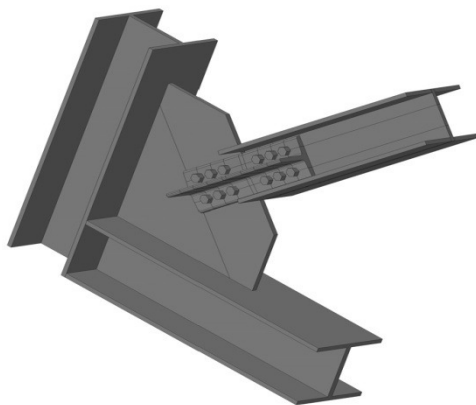
شکل ۴۲: دتایل سه بعدی اتصال نوع Fixed End Gusset connection



شکل ۴۳: دتایل سه بعدی اتصال نوع Composite end Gusset connection

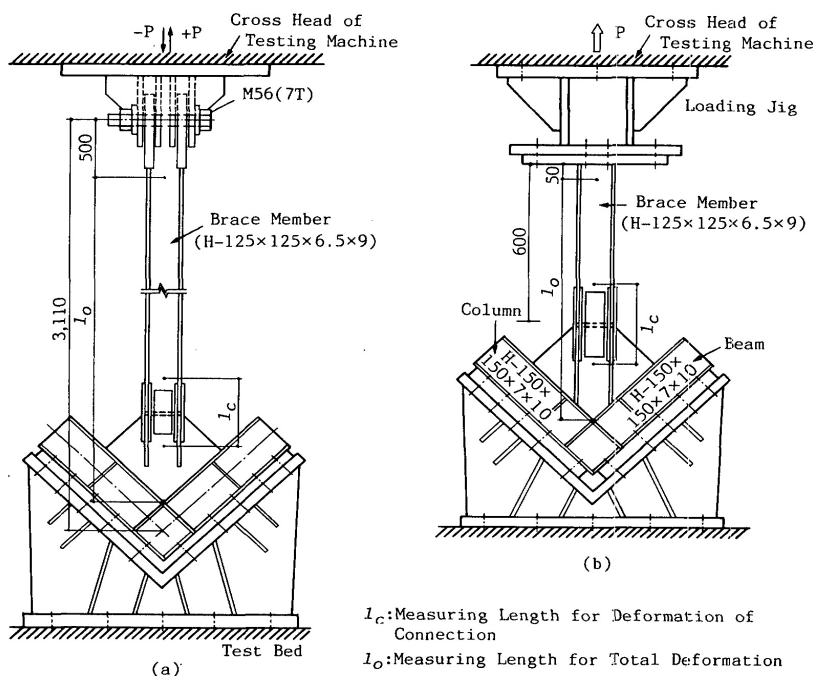


شکل ۴۴: دتایل سه بعدی اتصال نوع Simple end Gusset connection

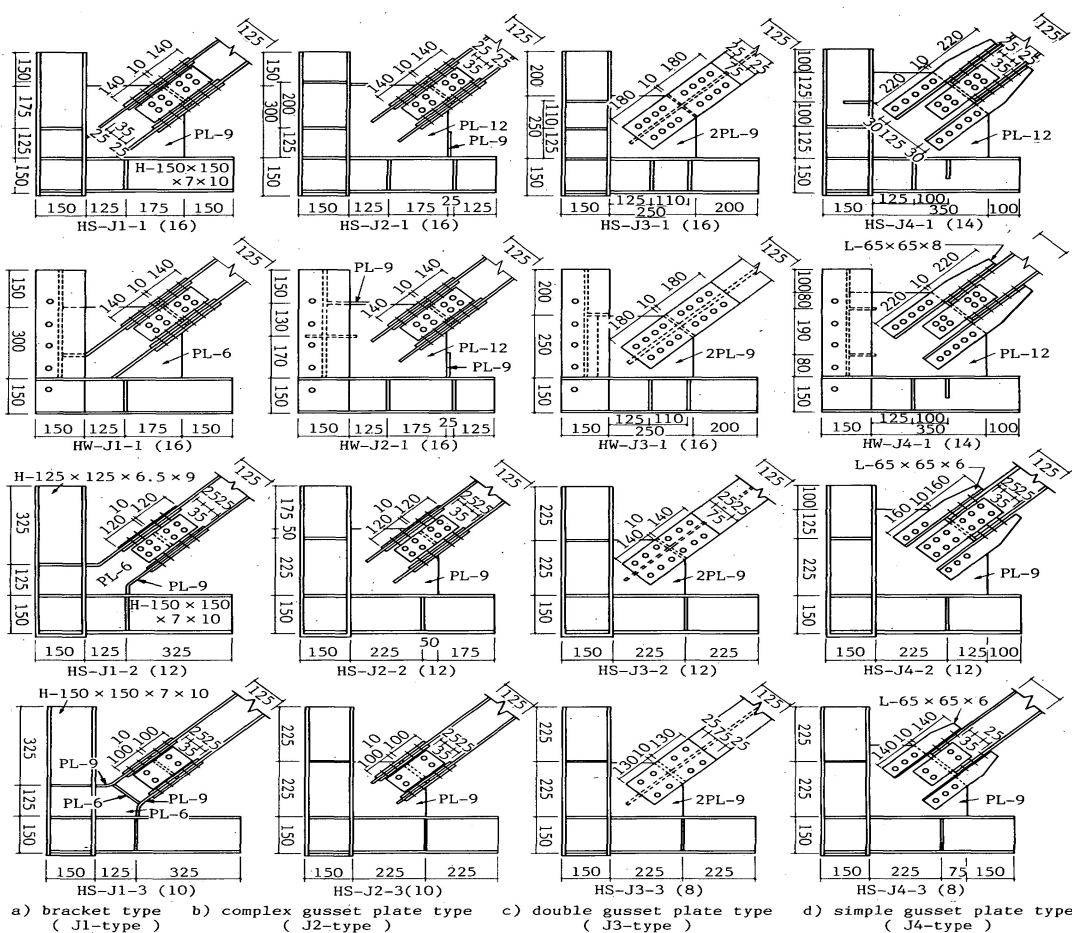


شکل ۴۵: دتایل سه بعدی اتصال استفاده شده توسط chen برای مقاطع بال پهن

در این آزمایشات دو نوع بارگذاری صورت گرفته است. شکل ۴۶-a نشانگر دستگاه بارگذاری چرخه‌ای و شکل ۴۶-b نشانگر بارگذاری یکطرفه است.

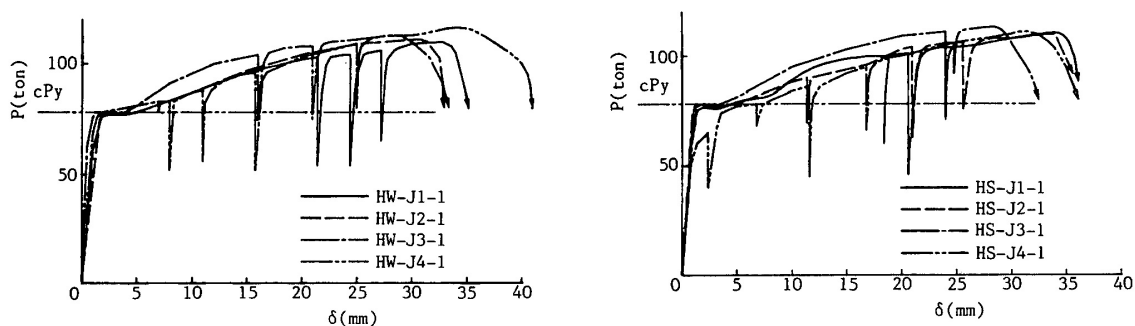


شکل ۴۶: دستگاه بارگذاری نمونه های اتصال بادبند و گاست

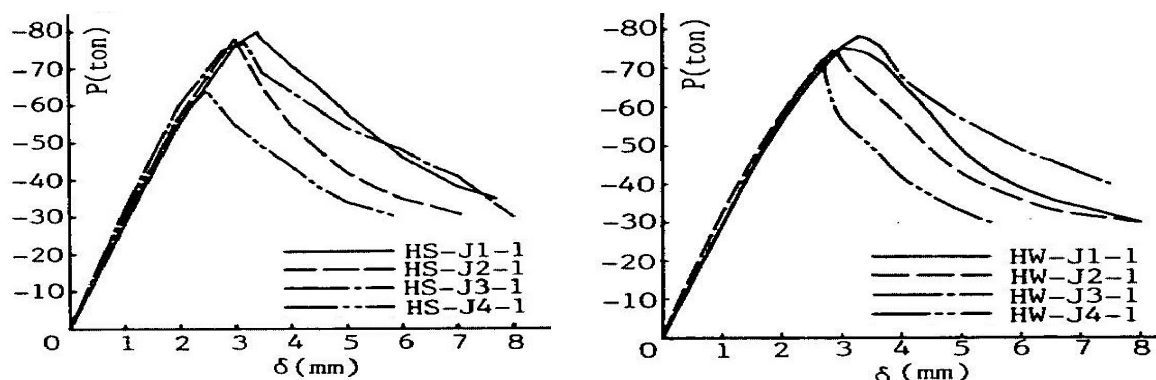


شکل ۴۷: دتایل ۴ گروه نمونه‌ی آزمایش شده

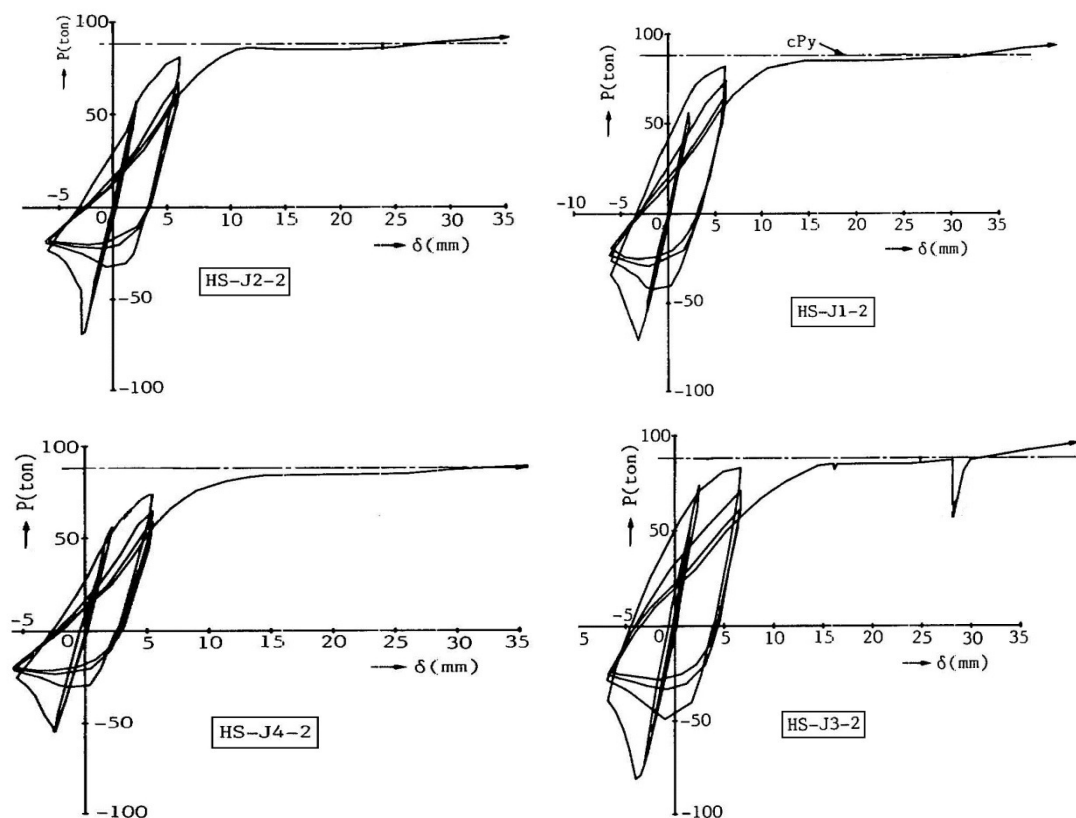
در شکل ۴۸ نیز نمودارهای رفتار نمونه‌های HS-J و HW-J مقایسه شده است. مقایسه‌ی رفتار این دو دسته از نمونه‌ها می‌تواند اثر نرمی محل اتصال گاست به ستون را نشان دهد. نمونه‌های گروه HS-J دارای اتصال گاست به بال ستون و نمونه‌های گروه HW-J دارای اتصال گاست به جان ستون است.



شکل ۴۸: مقایسه‌ی رفتار نمونه‌های HS-J و HW-J تحت بارگذاری کششی یک طرفه



شکل ۴۹: مقایسه‌ی رفتار نمونه‌های HS-J-1 و HW-J-1 تحت بارگذاری فشاری یک‌طرفه



شکل ۵۰: مقایسه‌ی رفتار نمونه‌های HS-J-1-2 و HS-J-4-2 تحت بارگذاری چرخه‌ای

با توجه به شکل‌های ۴۹ و ۵۰، بهترین رفتار از نمونه‌های HS-J-2 و HS-J-3 دیده شده که دتایل سه‌بعدی آن‌ها در شکل‌های ۴۲ و ۴۳ آورده شده است. لذا اکیداً این دو اتصال به اضافی اتصال chen که در شکل ۴۵ نمایش داده



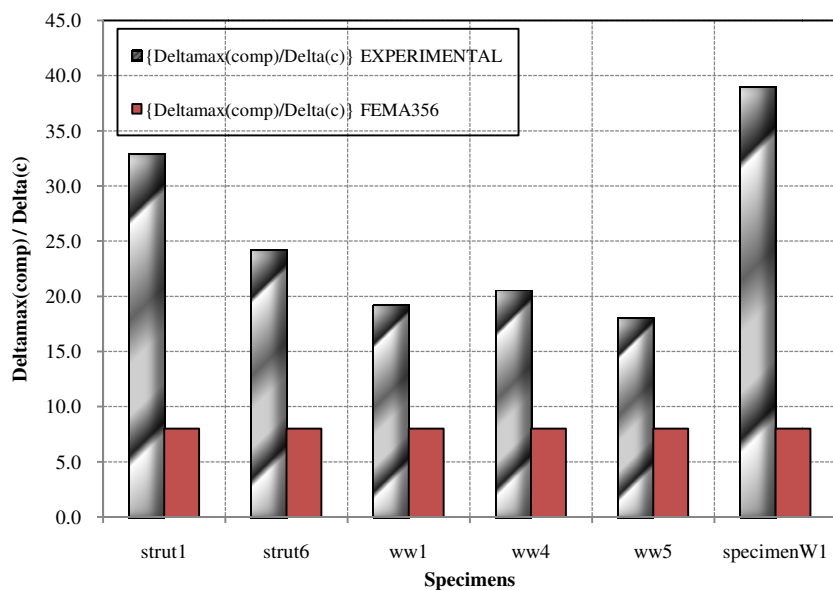
شده، برای این نوع بادبند توصیه می‌گردند و استفاده از این اتصالات همراه با اجرای درست می‌تواند قابها را از خرابی نجات بخشد.

## ۱۰.۲ رفتار نمونه‌های مشابه I شکل در بندهای ۳.۲ تا ۹.۲

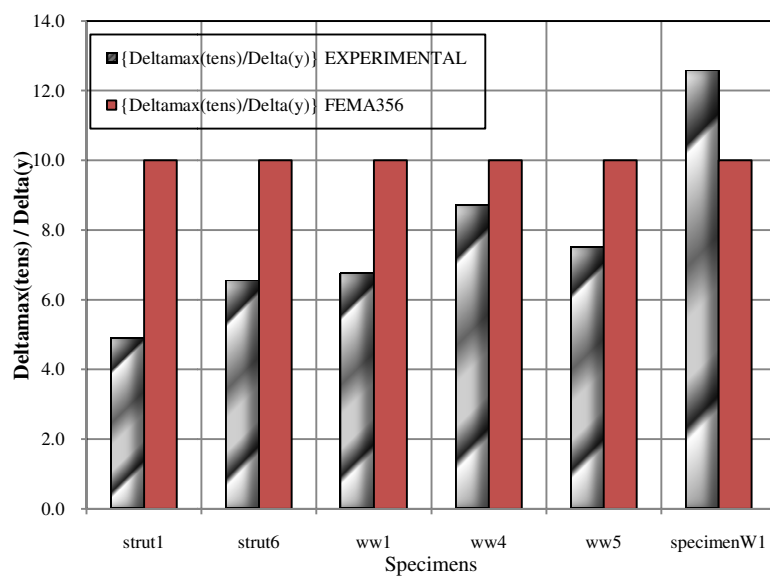
خصوصیت بارز نمونه‌های I شکل و نمونه‌های با مقطع W آمریکائی مشابه I شکل، که در جدول ۹ نشان داده شده- اند، میزان لاغری بسیار بالای آنها نسبت به نمونه‌های H شکل است. در جدول ۹، این نمونه‌ها گردآوری شده‌اند تا بتوان شمائی از رفتار نمونه‌های I شکل را به صورت واضح‌تر در ذهن داشت.

جدول ۹: نمونه‌های شبه I شکل آزمایش شده در تحقیقات اشار شده

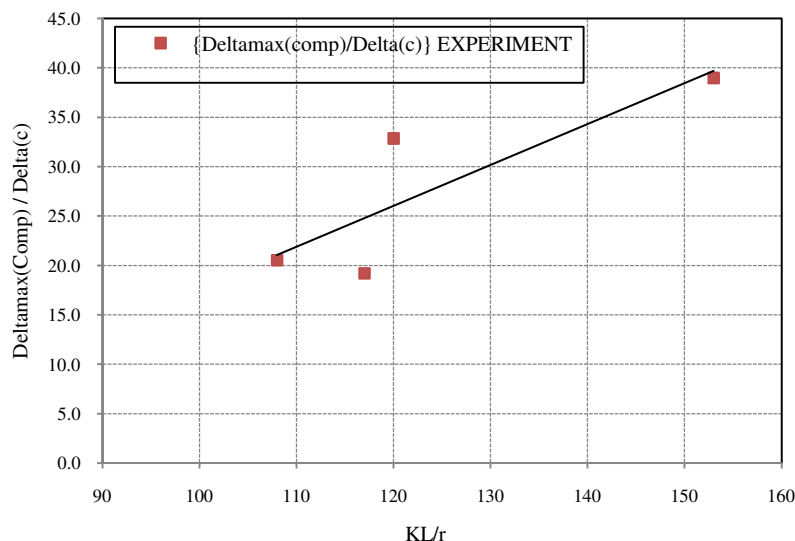
specimen	strut1	strut6	ww5	ww4	ww1	specimenW1
section	w8x20	w6x16	W6X9	W8X15	W10X15	w12x16
kl/r	120	120	105	108	117	153
A(cm <sup>2</sup> )	39.7	30.6	17.3	28.6	28.45	30.4
h(cm)	<u>21.0</u>	<u>16.0</u>	<u>15</u>	<u>20.6</u>	<u>25.4</u>	<u>30.5</u>
b(cm)	<u>13.4</u>	<u>10.2</u>	<u>10</u>	<u>10.2</u>	<u>10.2</u>	<u>10</u>
tf(cm)	1.02	1.03	0.55	0.8	0.68	0.67
tw(cm)	0.63	0.66	0.43	0.62	0.58	0.56
L(cm)	380	300	360	360	360	300
end condition	pined-pined	pined-pined	fixed-fixed	fixed-fixed	fixed-fixed	pined-pined
b/2tf	6.6	5.0	9.1	6.4	7.5	7.5
مقطع تقریباً مشابه	IPE220	IPE160	IPE160	IPE200	IPE240	IPE300



شکل ۵۱: مقایسه رفتار فشاری نمونه های شبه آتشکل تحقیقات بررسی شده در بند ۳.۲ تا ۳.۲



شکل ۵۲: مقایسه رفتار کششی نمونه های شبه آتشکل تحقیقات بررسی شده در بند ۳.۲ تا ۳.۲



شکل ۵۳: اثر ضریب لاغری بر شکل پذیری فشاری نمونه های شبه I شکل بررسی شده در بند ۳.۲ تا ۹.۲

با توجه به جدول ۹ و شکل های ۵۱ و ۵۲، رفتار این مقاطع با وجود لاغری زیاد و بار کمانشی کم، از نظر شکل پذیری تا حدود زیادی مناسب بوده و در صورت داشتن اتصالات مناسب، می تواند نسبت به بسیاری از مقاطع رایج فعلی بهتر عمل نموده و سازه های فراوانی را در زلزله نجات دهد.

در شکل ۵۳، میزان شکل پذیری فشاری برای نمونه های دارای  $b/t$  تقریباً یکسان (بین ۶.۴ تا ۷.۵) رسم گردیده است، تا اثر لاغری بر شکل پذیری مقاطع شبه I به وضوح دیده شود. این نمودار به وضوح نشان می دهد که برای این مقاطع، افزایش لاغری نه تنها شکل پذیری مقطع را نمی کاهش دهد بلکه بر میزان آن می افزاید.

## ۱۱.۲ نتیجه گیری از رفتار مقاطع نور دیده ی H و I شکل

با توجه به مطالعاتی که در این بخش مورد بررسی قرار دادیم، از نظر نگارنده، نتایج زیر را داریم:

- استفاده از اعضای بادبندی با مقطع H و I، می تواند شکل پذیری سازه را تا حدود زیادی افزایش دهد. این اعضا در مقایسه با مقاطع قوطی، که به میزان قابل توجهی در سایر کشورها مورد استفاده قرار می گیرد، و مقاطع دوبل ناودانی و دوبل نبشی، که در کشورمان استفاده ی زیادی دارد، بسیار شکل پذیرتر هستند و تنها ضابطه ای که استفاده از آنها را محدود کرده است، روش های طراحی نیرویی و طرز فکر با مبنای

- رفتار نیروئی در آئین‌نامه‌ها است، که در بسیاری از مواقع شکل‌پذیری که اصل رفتار قاب در حین زلزله است را قربانی بار کمانش می‌نماید.
- با استفاده از دتایل‌های ارائه‌شده برای اتصال گاست این مقاطع، می‌توان کمانش درون‌صفحه و برون‌صفحه را برای این‌گونه مقاطع به‌دست آورد. استفاده از دتایل انتهائی گیردار، محدودیت بارکمانش و لاغری بالای این اعضا را کاهش داده و مشکل این مقاطع با آئین‌نامه‌های فعلی را تا حدود زیادی مرتفع می‌گرداند ولی از شکل‌پذیری مقطع به میزان کمی می‌کاهد.
  - افزایش لاغری نه‌تنها باعث کاهش شکل‌پذیری عضو نمی‌شود، بلکه موجب افزایش بسیار زیادی در شکل‌پذیری و به تأخیر افتادن گسیختگی عضو می‌شود. از این‌رو و با توجه به مطالعات دیگر نگارنده در رابطه با سایر مقاطع بادبندی و اثر مطلوب افزایش لاغری بر رفتار آن‌ها، نگارنده معتقد است که افزایش لاغری و کاهش نسبت عرض به ضخامت اثراتی بسیار مثبت بر رفتار شکل‌پذیر بادبندها در حین زلزله دارند که هرگز نمی‌توان از آن‌ها چشم‌پوشی نمود.
  - معیار دستورالعمل Fema356 و سایر دستورالعمل‌های بهسازی لرزه‌ای در بررسی رفتار شکل‌پذیر اعضای بادبندی در فشار به صورت ضرایبی از  $\Delta c$  بیان می‌گردد و این بدان مفهوم است که با افزایش لاغری، شکل‌پذیری عضو از منظر دستورالعمل کاسته می‌گردد و این مفهوم با توجه به بند قبل و مطالعات نگارنده، کاملاً با واقعیت در تناقض است. از منظر دیگر، دستورالعمل بهسازی، هیچ رابطه و ضابطه‌ای را برای لحاظ کردن اثر  $b/t$  در رفتار شکل‌پذیر اعضای بادبندی در نظر نگرفته است.
- البته قابل ذکر است که در آئین‌نامه‌ی ASCE41-06 رویکردی در جهت اصلاح این تقیصه به‌وجود آمده است ولی نه با لحاظ کردن کامل این مطلب که افزایش لاغری رفتار را بهبود می‌بخشد بلکه چنان‌که در جدول ۱۰ دیده می‌شود، برای اعضای لاغرتر ضرایب  $\Delta c$  افزوده گردیده تا به گونه‌ای از شدت اثر منفی افزایش لاغری، که توسط دستورالعمل بهسازی Fema356 لحاظ گردیده بود، کاسته گردد.

جدول ۱۰: ضرایب پارامترهای طراحی عملکردی و معیارهای پذیرش بادبندها در ASCE41-06

Table 5-7. Modeling Parameters and Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Structural Steel Components—Axial Actions								
Component/Action	Modeling Parameters			Acceptance Criteria <sup>a</sup>				
	Plastic Deformation		Residual Strength Ratio	Plastic Deformation				
				Primary			Secondary	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	IO	LS	CP	LS	CP
Braces in Compression (except EBF braces)								
a. Slender								
$\frac{Kl}{r} \geq 4.2\sqrt{E/F_y}$								
1. W, I, 2L In-Plane, 2C In-Plane	0.5 $\Delta_c$	10 $\Delta_c$	0.3	0.25 $\Delta_c$	6 $\Delta_c$	8 $\Delta_c$	8 $\Delta_c$	10 $\Delta_c$
2. 2L Out-of-Plane, 2C Out-of-Plane	0.5 $\Delta_c$	9 $\Delta_c$	0.3	0.25 $\Delta_c$	5 $\Delta_c$	7 $\Delta_c$	7 $\Delta_c$	9 $\Delta_c$
3. HSS, Pipes, Tubes	0.5 $\Delta_c$	9 $\Delta_c$	0.3	0.25 $\Delta_c$	5 $\Delta_c$	7 $\Delta_c$	7 $\Delta_c$	9 $\Delta_c$
b. Stocky								
$\frac{Kl}{r} \leq 2.1\sqrt{E/F_y}$								
1. W, I, 2L In-Plane, 2C In-Plane	1 $\Delta_c$	8 $\Delta_c$	0.5	0.25 $\Delta_c$	5 $\Delta_c$	7 $\Delta_c$	7 $\Delta_c$	8 $\Delta_c$
2. 2L Out-of-Plane, 2C Out-of-Plane	1 $\Delta_c$	7 $\Delta_c$	0.5	0.25 $\Delta_c$	4 $\Delta_c$	6 $\Delta_c$	6 $\Delta_c$	7 $\Delta_c$
3. HSS, Pipes, Tubes	1 $\Delta_c$	7 $\Delta_c$	0.5	0.25 $\Delta_c$	4 $\Delta_c$	6 $\Delta_c$	6 $\Delta_c$	7 $\Delta_c$
c. Intermediate	Linear interpolation between the values for slender and stocky braces (after application of all applicable modifiers) shall be used.							

### ۳- رفتار بادبندهای با مقطع دوبر ناودانی لب به لب

#### ۱.۳ مقدمه

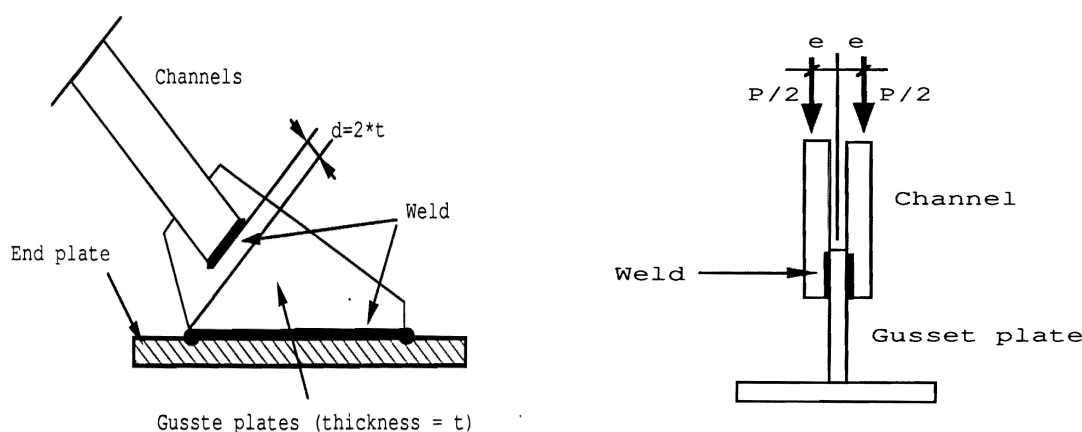
رفتار بادبندهای با مقطع دوبر ناودانی آن چنان که می‌دانیم در کشور ما بسیار حائز اهمیت می‌باشد و این در صورتی است که مطالعات گسترده‌ی نگارنده، به این نتیجه رسید که در کشورهای اروپایی و آمریکا، به جز مورد فعلی که در سال ۱۹۸۶ در دانشگاه میشیگان توسط Goel, Xu انجام گرفته است، مطالعه‌ی قابل توجه دیگری در این مورد انجام نشده است. از این رو قصد داریم که این گزارش را به شکلی مناسب و دقیق بررسی نماییم تا بتواند ما را در استفاده‌ی ایمن و اقتصادی از این مقاطع رایج یاری رساند.

از جمله‌ی مواردی که باعث می‌شود تا توجهی ویژه به این گونه مقاطع داشته باشیم این است که:

- ۱- مصالح در حالت قوطی شکل به گونه‌ای بهینه تر مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مطلب از آن جا ناشی می‌شود که شعاع ژیراسیون حول دو محور برای آن‌ها تقریباً برابر است.
- ۲- این مقطع دارای مقاومت پیچشی بسیار بالاتری نسبت به سایر مقاطع می‌باشد.
- ۳- ناودانی‌ها به خاطر این که در طی نورد گرم تولید شده‌اند، خالی از کرنش‌ها و تنش‌های ناشی از شکل‌دهی سرد می‌باشند.
- ۴- بال‌های نسبتاً ضخیم در مقاطع ناودانی می‌تواند مانعی در مقابل تغییر شکل‌های شدید در جان باشد و در نتیجه از شدت کمانش موضعی در بادبند بکاهد.
- ۵- دسترسی به مقاطع ناودانی در بسیاری از کشورهای جهان نسبت به مقاطع قوطی ساده‌تر و ارزان‌تر می‌باشد. با توجه به مطالعات آزمایشگاهی صورت گرفته بر روی مقاطع دوبر ناودانی لب به لب، می‌توان این گونه بیان نمود:
  - استفاده از مقاطع دوبر ناودانی دوسرگیردار به شرط آن که این مقاطع در طول عضو دارای لقمه‌های به تعداد و ابعاد مناسب باشند، می‌تواند دارای رفتاری بسیار مناسب بوده و اتلاف انرژی بالایی را برای عضو بادبندی و سازه در بر داشته باشد.
  - در نمونه‌های دوسر مفصل لازم است تا اولاً فاصله‌ی آزاد پیشنهادی توسط آستانه‌ی اصل اعمال گردد و ثانیاً اکیداً توصیه می‌گردد تا جوش اتصال‌دهنده‌ی پای ناودانی‌ها به گاست، برای بار محوری نظیر تسلیم بادبند و

لنگر ناشی از برون محوری این بار نسبت به سطح ورق گاست، که در شکل ۵۴ نشان داده شده است، برآورد گردد. این مطلب از آن رو پیشنهاد می‌گردد که در آزمایشات آقایان Goel , Ireland به علت استفاده از جوش برآورد شده بر اساس نیروی محوری تسلیم بادبندها و عدم نظر گرفتن اثر لنگر خمشی ناشی از برون محوری بار، جوش مقاطع در محل اتصال به گاست دچار شکست گردیده و از این رو به ظرفیت کامل خود نرسیدند. با این حال، در نظر گرفتن این مطلب در آزمایشات Goel , Xu برای محاسبه‌ی جوش ناودانی به گاست، منجر به رسیدن به شکل پذیری بالا در قاب و عدم مشاهده‌ی شکست در اتصال انتهایی شده است.

در بررسی رفتار بادبندهای دوبل ناودانی، دو مسئله در رابطه با رفتار آن‌ها مطرح است: ۱- نیروی کمانش بادبندها (رفتار نیرویی) ۲- تغییر شکل گسیختگی بادبند (رفتار شکل پذیر)



شکل ۵۴: نحوه محاسبه جوش اتصال بادبند به گاست      شکل ۵۵: رعایت نمودن فاصله آزاد  $2t_p$  در گاست

### ۲.۳ نمونه های دوسر مفصل

در این دسته از بادبندهای دوبل ناودانی، دو نمونه مورد استفاده قرار داده شده‌اند که متغیر مورد بررسی در رابطه با آن‌ها، تعداد ورق‌های لقمه‌ای در طول بادبند می‌باشد. در این نمونه‌ها فاصله‌ی آزاد  $2t_p$  در انتهای گاست‌ها رعایت شده است و اثر مناسبی را بر عملکرد مناسب و شکل پذیر این بادبندها داشته است.

در ضمن، در این نمونه‌ها برای ممانعت از شکست در جوش اتصال دهنده‌ی گاست به بادبند، توصیه می‌شود که طول و بعد جوش اتصال دهنده در هر طرف گاست، برای نیروی محوری تسلیم عضو تک ناودانی و لنگر خمشی ناشی از برون محوری این نیرو نسبت به سطح گاست محاسبه گردد.

در رابطه با فاصله‌ی بین لقمه‌های بادبندها در آیین‌نامه‌ی AISC360-05 و AISC-LRFD99 این‌گونه بیان می‌شود:

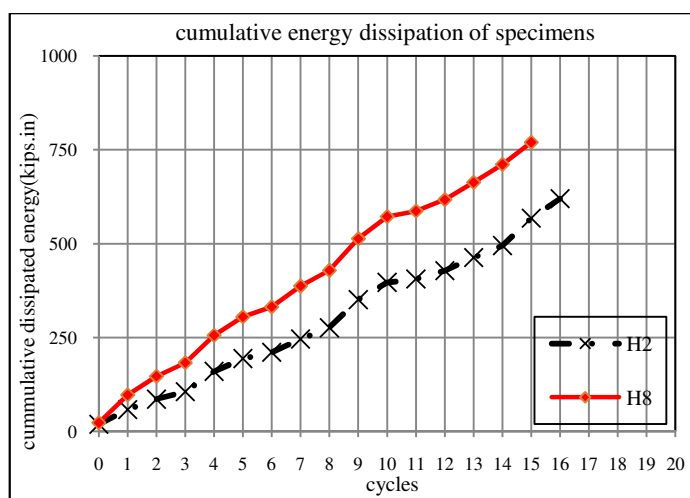
فاصله‌ی بین اجزای اتصال دهنده‌ی دو مقطع (a)، بایستی به‌گونه‌ای باشد که  $(K.a/r_i) < 0.75 (K.L/r)$  باشد.

در آیین‌نامه‌ی AISC341-05 (AISC seismic provision)، رابطه‌ی زیر به عنوان ضابطه‌ی تعیین فواصل لقمه‌ها در نظر گرفته شده است.

$$(K.a/r_i) < 0.40 (K.L/r)$$

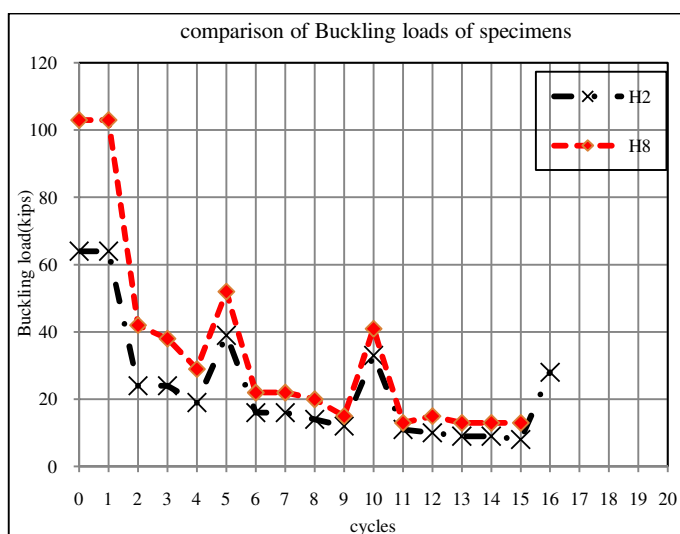
نتایج بررسی‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌های دو سر مفصل این آزمایش نشان می‌دهد که رعایت ضابطه‌ی آیین‌نامه‌های AISC-LRFD99 و AISC360-05 نمی‌تواند ضمانتی بر رفتار شکل‌پذیر نمونه‌های دوبر ناودانی دوسر مفصل باشد و حتی با رعایت این ضابطه در رسیدن عضو به بار کمانش تئوریک نیز شبه‌ی زیادی وجود دارد. (در جدول ۱۱ این مطلب به‌وضوح دیده می‌شود).

با این حال، رابطه‌ی ارائه شده توسط آیین‌نامه‌ی AISC341-05 به نظر کمی به واقعیت نزدیک‌تر بوده و تا حدودی می‌تواند ضمانتی بر رسیدن عضو به بار کمانش تئوریک مقطع مرکب و رفتار شکل‌پذیر مورد انتظار باشد.



شکل ۵۶: مقایسه انرژی اتلافی چرخه ای نمونه های دوسر مفصل





شکل ۵۷: مقایسه بار کماتش چرخه ای نمونه های دوسر مفصل

لیکن با توجه به رفتار بهتر عضو دوسر مفصل H8 نسبت به نمونه ی H2، از نظر اتلاف انرژی، نیروی کماتش و شکل پذیری (شکل ۵۶ و ۵۷)، ترجیح دارد که از رابطه ی زیر برای تعیین فاصله ی لقمه ها استفاده نماییم تا از رفتار مناسب مقاطع دوبر ناودانی دوسر مفصل اطمینان حاصل گردد.

$$(K.a/ri) < 0.30(K.L/r)$$

در جدول ۱۱، مقایسه ای بین این دو نمونه صورت گرفته تا اثر فواصل لقمه ها بر رفتار نمونه ها مشهود گردد.

جدول ۱۱: مقایسه رفتار نمونه های دوسر مفصل

section	L(in)	(KL/r) out	a(in)	Pcr(AISC2005)	Pcr(test)	Pcr(AISC1978)	K.a/ri	0.75(KL/r)	0.40(KL/r)
H2	129	87	35	57	64	103	78	65	34
H8	129	87	11	78	103	103	25	65	34

### ۳.۳ نمونه های دوسر گیردار با لقمه های جوشی

دتایل ارائه شده در آزمایش صورت گرفته بر روی دوبر ناودانی های دوسر گیردار، دتایل بسیار مناسبی است که استفاده از آن به همراه تعداد لقمه ی مناسب، می تواند بسیار مؤثر باشد. این مقاطع دارای کماتش درون صفحه بوده و میزان اتلاف انرژی آن ها در مقایسه با مقاطع دوسر مفصل بسیار بیشتر است.

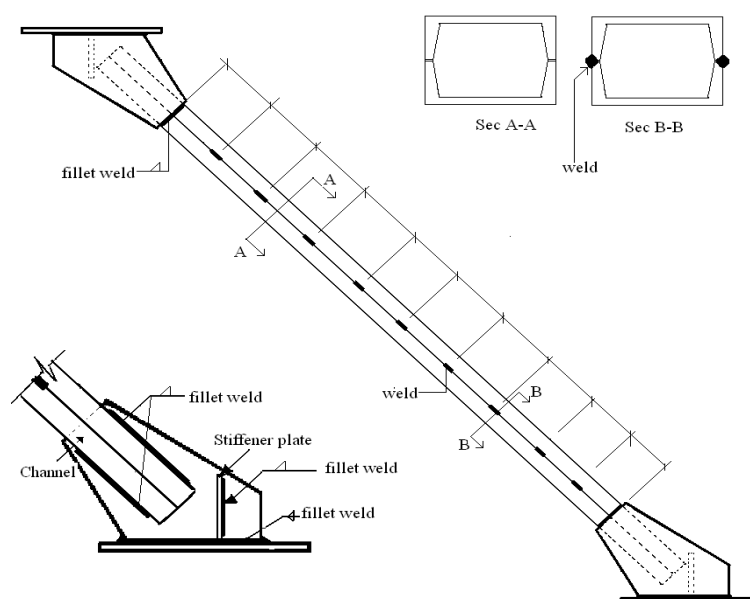
دتایل اجرائی این نمونه ها در شکل ۵۸ و ۵۹ ارائه گردیده است. در این نوع سیستم بادبندی، نحوه ی اجرای اتصال انتهایی از اهمیت زیادی برخوردار است. به علت عدم رخداد کماتش برون صفحه، در اتصال بادبند به گاست نیازی به

اعمال فاصله‌ی آزاد  $2t_p$  در انتهای گاست نیست. از طرفی در این آزمایشات از ورق سخت‌کننده‌ای در بین دو ورق گاست استفاده شده که مانع از دور شدن دو گاست از یکدیگر شده است. (شکل ۶۰)

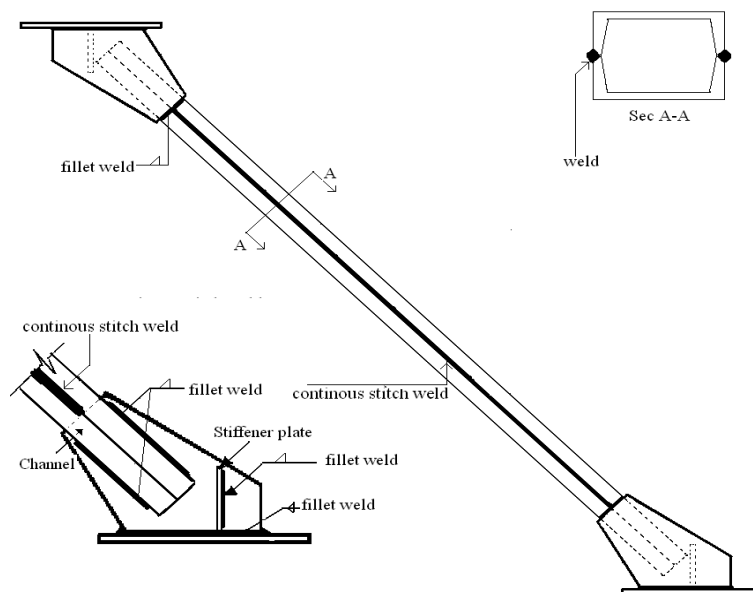
در بین تمامی نمونه‌های دوسر گیردار آزمایش شده با این دتایل، هیچ‌گونه شکست یا کم‌انرژی در ناحیه‌ی اتصال انتهایی مشاهده نگردیده و این دلیلی بر مناسب بودن این سبک اجرای ورق اتصال انتهایی است.

جدول ۱۲: مقایسه رفتار نمونه های دوسر گیردار با لقمه های جوشی

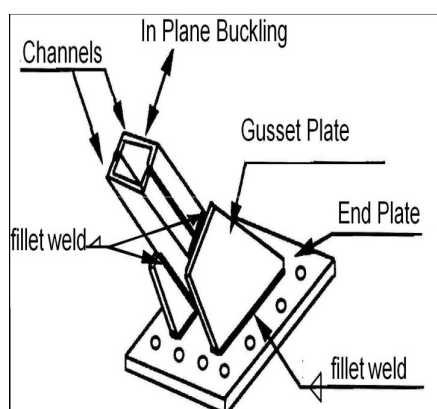
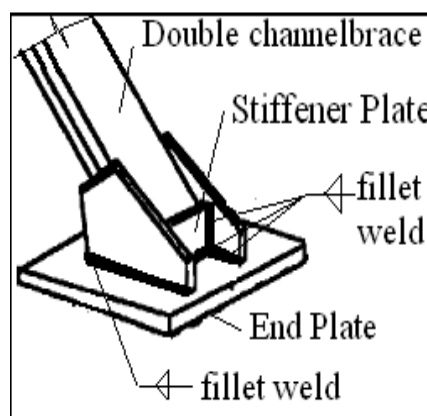
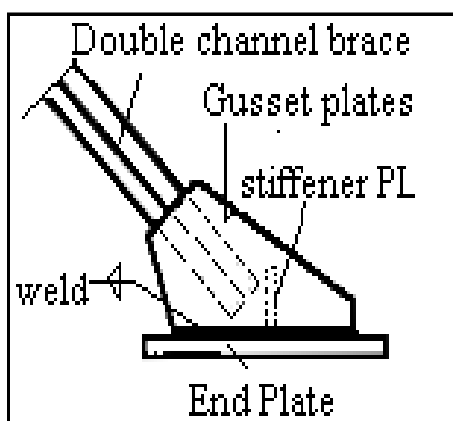
section	L(in)	(KL/r) <sub>y</sub>	a(in)	Pcr(AISC2005)	Pcr(test)	Pcr(AISC1978)	K.a/ri	0.75(KL/r)	0.40(KL/r)
<b>F4H</b>	136	59	21	<b>102</b>	<b>117</b>	<b>128</b>	<b>23</b>	<b>42</b>	<b>22</b>
<b>F6H</b>	136	59	16	<b>108</b>	<b>131</b>	<b>128</b>	<b>17</b>	<b>42</b>	<b>22</b>
<b>F9H</b>	136	59	10	<b>113</b>	<b>136</b>	<b>128</b>	<b>11</b>	<b>42</b>	<b>22</b>
<b>F0H</b>	136	59	0	<b>116</b>	<b>130</b>	<b>128</b>	<b>0</b>	<b>42</b>	<b>22</b>



شکل ۵۸: جزئیات اجرایی نمونه F9H



شکل ۵۹: جزئیات اجرایی نمونه F0H



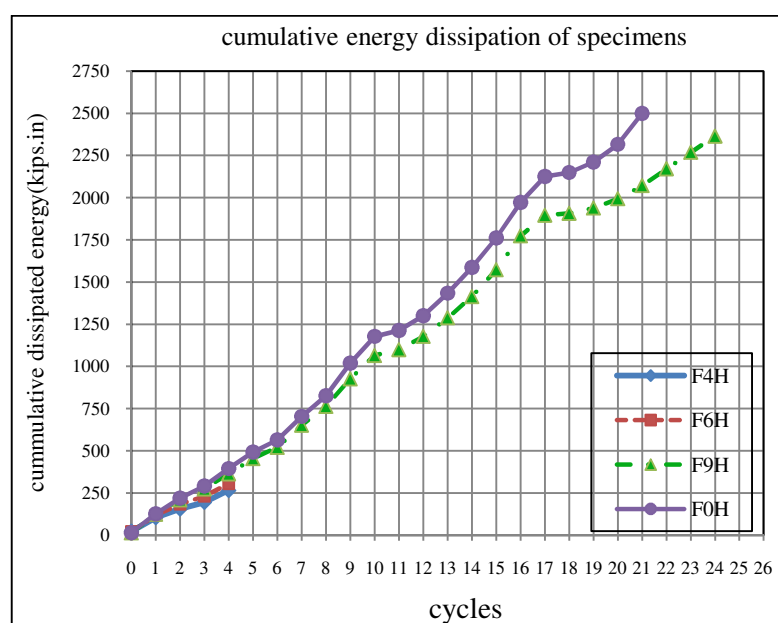
شکل ۶۰: جزئیات اجرایی اتصال گیردار بادبند به گاست

در شکل‌های ۵۹ و ۵۸، جزئیات نمونه‌های F9H و F0H از این دسته نمایش داده شده‌اند. نحوه‌ی اجرای نمونه‌های F6H و F4H نیز کاملاً مشابه نمونه‌ی F9H است با این تفاوت که در آن نمونه‌ها تعداد لقمه‌های جوشی به ترتیب ۴ و ۶ می‌باشد در حالی که در نمونه‌ی F9H این تعداد برابر ۹ است.

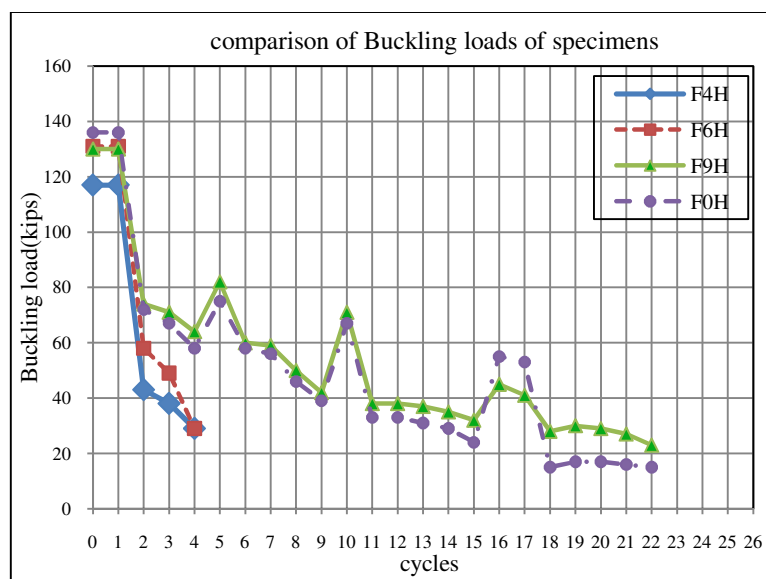
نتایج رفتاری این نمونه‌ها که در شکل‌های ۶۱ و ۶۲ آورده شده است، نشان می‌دهد که نمونه‌های با جوش لقمه‌ای پیوسته (F0H) و با فواصل جوش لقمه‌ای بسیار کم (F9H)، دارای رفتار بسیار مناسبی بوده و تفاوت بسیار بارزی را از لحاظ شکل‌پذیری و اتلاف انرژی دارند. با وجود این تفاوت بسیار بارز و نگاهی به جدول ۱۲ می‌توان گفت:

برای مقاطع دوسرگیردار، رعایت ضابطه‌ی آیین‌نامه‌ی (AISC seismic provision) AISC341-05 نمی‌تواند ضمانتی بر رفتار شکل‌پذیر مناسب این‌گونه بادبندها باشد. بنابر نتایج این آزمایشات به شرط استفاده از لقمه‌های جوش نفوذی با فواصل مناسب، می‌توان رفتاری شکل‌پذیر همراه با اتلاف انرژی زیاد را به دست آورد. ضابطه‌ی تعیین‌کننده‌ی فاصله‌ی بین لقمه‌ها بایستی کمتر از  $4/10(KL/r)$  باشد. از آنجایی که نمونه‌های F9H و F0H دارای رفتاری بسیار نزدیک به هم هستند، بنابراین استفاده از جوش ممتد یا لقمه‌های جوشی با فواصل کمتر از  $0.20(K.L/r)$ ، می‌تواند رفتار مناسب این مقاطع را تضمین نماید.

بنابر صحبت‌های صورت گرفته، استفاده از این دتایل انتهایی به همراه اعمال ضابطه‌ی  $(K.a/r_i) < 0.20(K.L/r)$  برای فواصل لقمه‌ها، می‌تواند رفتار شکل‌پذیر مناسب و رسیدن به بار کمانش تئوریک را برای این‌گونه مقاطع تضمین نماید.



شکل ۶۱: مقایسه رفتار نمونه‌های دوسرگیردار با لقمه‌های جوشی از نظر انرژی اتلافی



شکل ۶۲: مقایسه رفتار نمونه های دوسر گیردار با لقمه های جوشی از نظر بار کمانشی

### ۴.۳ نمونه های دوسر گیردار با ورق لقمه ای و جوش

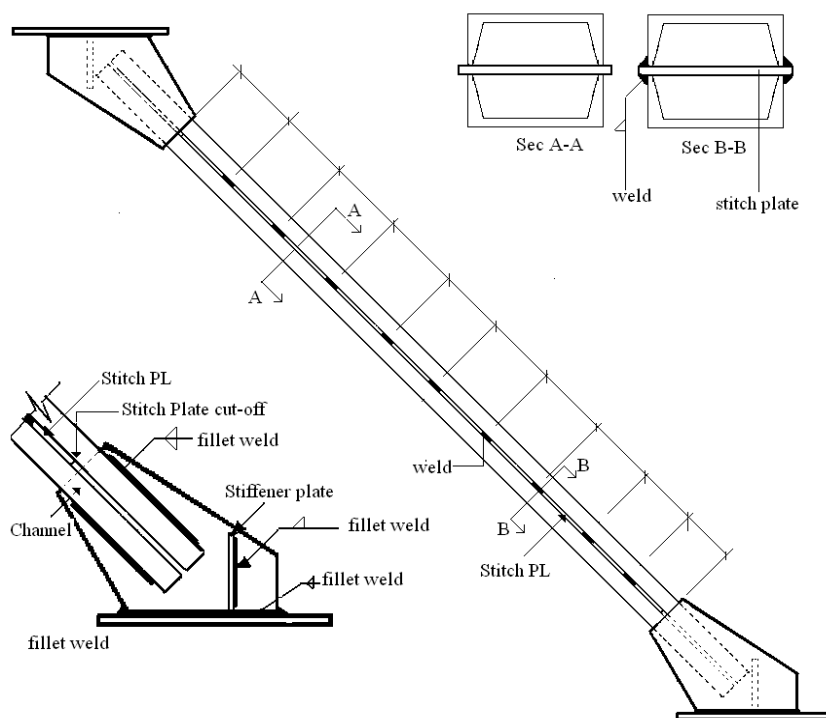
نتایج به دست آمده از آزمایشات صورت گرفته بر روی این گونه اعضا در زیر مقایسه شده است.

در این بخش نمونه های این گروه به صورت مختصر بررسی شده و سپس بهترین نمونه که می تواند با کمی دقت در اجرا، رفتاری بسیار مطلوب را بر جای بگذارد معرفی می نماییم. در تمامی این نمونه ها، دو انتهای گیردار، کمانش درون صفحه و ورق لقمه ای ممتد بین دو مقطع ناودانی وجود دارد.

#### ۱.۴.۳ نمونه ی P9

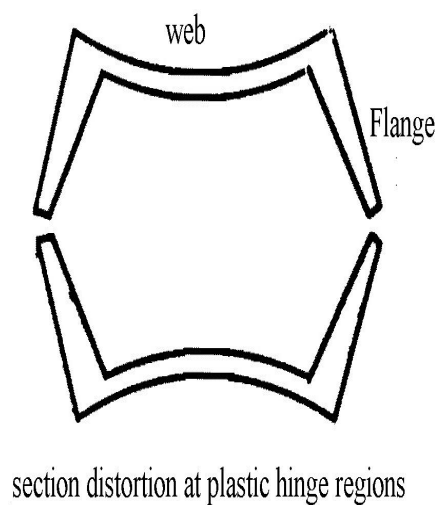
این نمونه، بسیار مشابه نمونه ی F9H است با این تفاوت که در این نمونه، لبه های بال دو ناودانی با جوش به یکدیگر متصل نشده اند بلکه یک ورق لقمه ای ممتد در تمامی طول عضو مابین این دو مقطع قرار گرفته و هر یک از دو مقطع در ۹ نقطه به این ورق جوش شده اند. ایده ی این طرح از آن جا مد نظر انجام دهندگان آزمایش قرار گرفت که در اثر کمانش موضعی در نقاطی از نمونه ی F9H اعوجاجی مانند آن چه در شکل ۶۴ دیده می شود، ظاهر گردید و برای ممانعت از دور شدن بال های ناودانی ها به سمت خارج، این ورق لقمه ای استفاده گردید تا بتواند

فاصله‌ی بین بال‌ها را در مقاطع ناودانی ثابت نگه دارد و بدین وسیله شکل‌پذیری آن را افزوده و گسیختگی آن را به تأخیر بیانندازد.

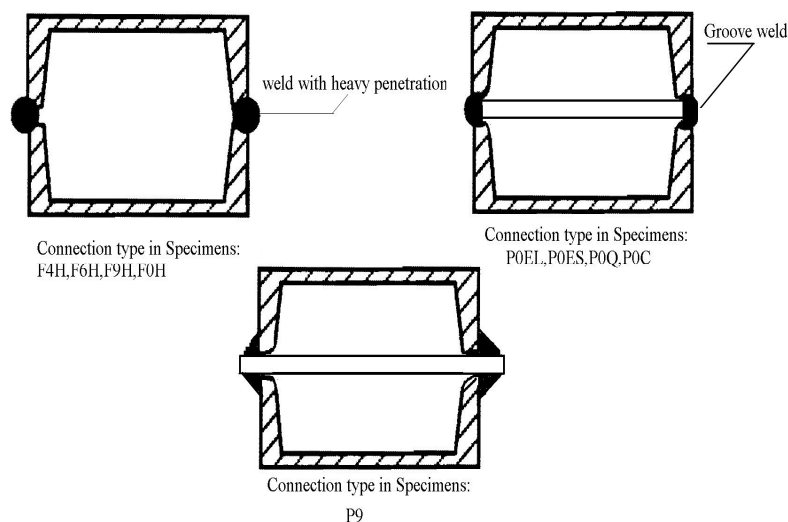


شکل ۶۳: جزئیات اجرایی نمونه P9

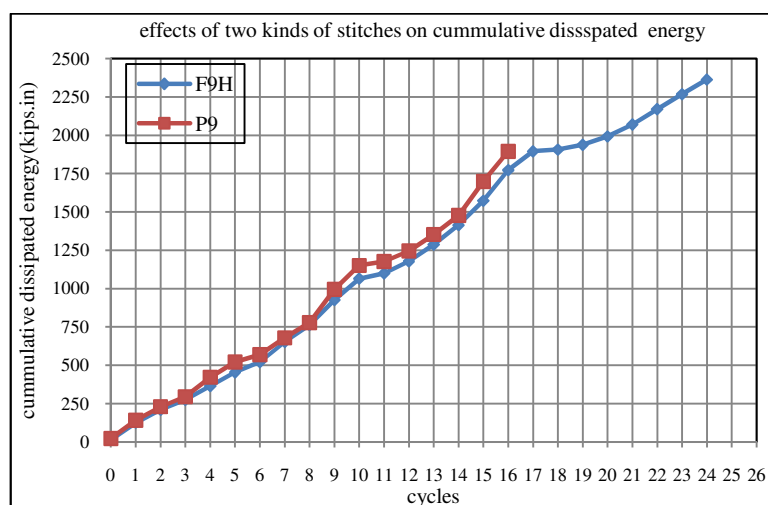
با این حال، آن‌چنان‌که نتایج ارائه‌شده در شکل ۶۶ نشان می‌دهد، استفاده از این ورق لقمه‌ای نتوانست رفتار نمونه را بهبود بخشد و این نمونه به میزان انرژی و شکل‌پذیری نمونه‌ی F9H نرسید. لذا در نمونه‌های بعدی از جوش ممتد استفاده گردید تا نقیصه‌ی این نمونه مرتفع گردد.



شکل ۶۴: رخداد اعوجاج بسمت خارج در نمونه های F9H, F4H, F6H



شکل ۶۵: استفاده از ورق لقمه ای برای کاهش اعوجاج بسمت خارج بال های ناودانی



شکل ۶۶: مقایسه نمونه های F9H, P9 از نظر انرژی اتلافی

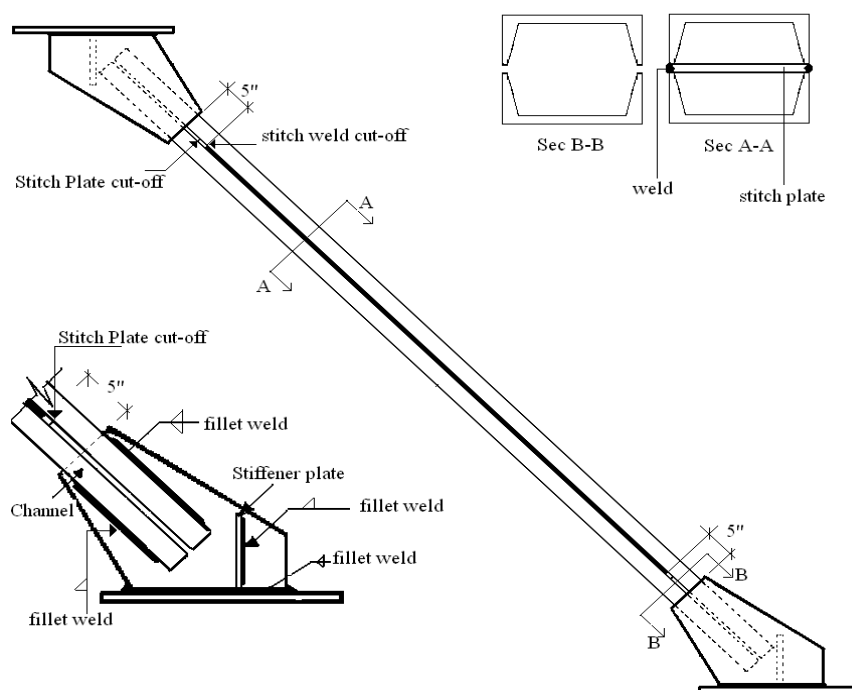
### ۲.۴.۳ نمونه ی POES

در این نمونه، دو مقطع ناودانی به واسطه ی جوش و ورق لقمه به یکدیگر متصل شده اند. ورق لقمه ای بین دو مقطع در تمامی طول بادبند ادامه دارد اما در فاصله ی بسیار کمی از محل اتصال بادبند به گاست، قطع می گردد. جوش مقطع نیز در فاصله ی 0.50 inch مانده به ورق اتصال انتهایی (گاست) قطع گردیده است. جزئیات اجرائی





بوده است. هدف از اعمال این تغییر، کاهش تمرکز تغییرشکل‌های پلاستیک از مجاورت گاست به ناحیه‌ای گسترده‌تر بوده که این هدف نیز محقق گردید. جزئیات اجرایی نمونه‌ی POEL در شکل ۶۸ نمایش داده شده است.



شکل ۶۸: جزئیات اجرایی نمونه POEL

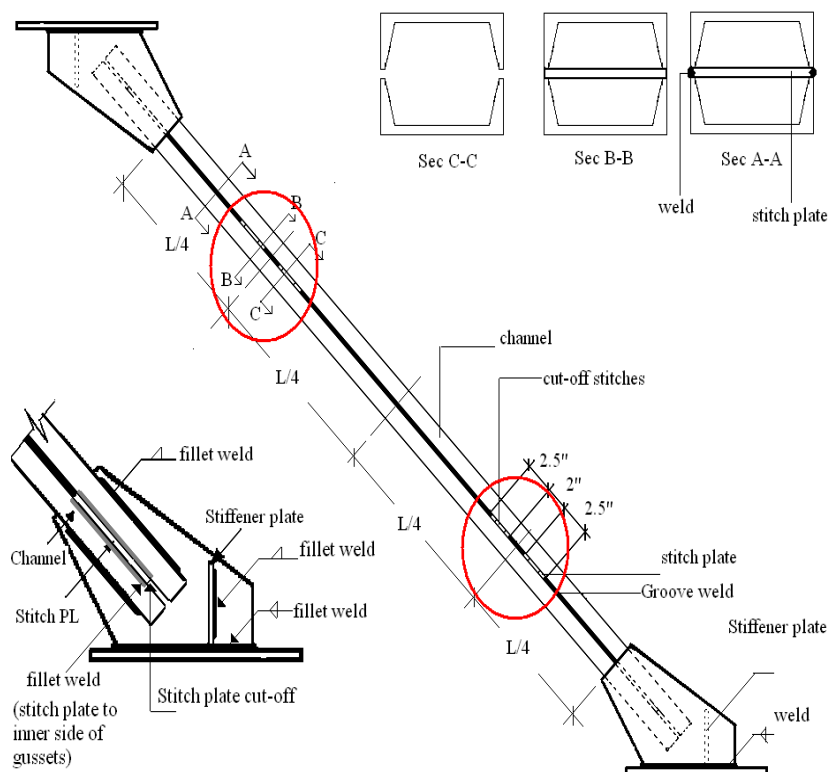
#### ۴.۴.۳ نمونه ی P0Q

در این نمونه نیز ورق لقمه‌ای ممتد به همراه جوش وجود دارد با این تفاوت که نقاط قطع جوش و ورق لقمه‌ای از مجاورت گاست در دو نمونه‌ی قبلی به نقطه‌ی یک چهارم طول خالص بادبند منتقل شده است. در نقاط یک چهارم طول خالص عضو بادبند (که در اصل نقاط عطف منحنی تغییرشکل عضو دو سرگیردار می‌باشند)، ورق لقمه‌ای و جوش آن در دو فاصله‌ی ۲.۵" قطع گردیده‌اند و در واقع به نوعی با تعریف این نقطه‌ی ضعیف شده، تمرکز تغییرشکل‌های پلاستیک از دو انتهای بادبند (که نقطه‌ی ضعف در نمونه‌های قبلی دوسرگیردار بود) به این نقاط منتقل گردد. در این نمونه، ورق لقمه‌ای نیز در داخل گاست ادامه یافته و به آن جوش شده است. امتداد ورق لقمه در گاست و اتصال به آن موجب مشارکت در باربری محوری و تمرکز زدائی از کرنش در محل آغاز گاست می‌شود. جزئیات اجرایی این نمونه در شکل‌های ۶۹ نشان داده شده است.

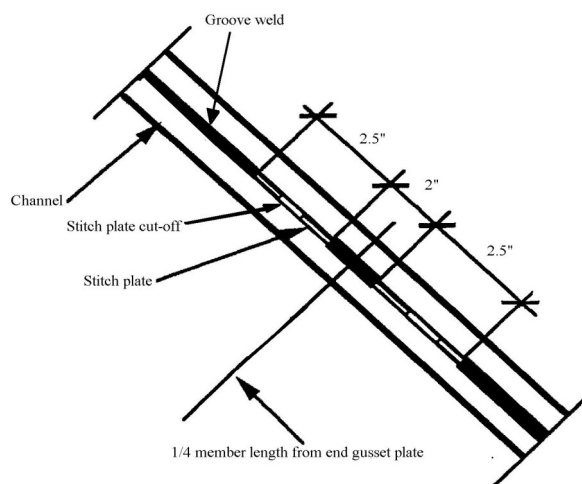
این نمونه بهترین رفتار را از لحاظ اتلاف انرژی، طول مدت زمان رسیدن به شکست و شکل‌پذیری در بین تمامی نمونه‌ها داشته است و چنانچه در شکل‌های ۷۸ و ۷۹ دیده می‌شود، دارای تفاوت بسیار بارزی است. لذا این دتایل

اجرای بادبند اکیداً توصیه می‌شود چراکه به علت دوسرگیردار بودن مشکل بار کمانش را حل می‌کند و از طرف دیگر دارای رفتار بسیار مطلوب‌تر از آن چیزی است که ما از یک مقطع بادبندی انتظار داریم.

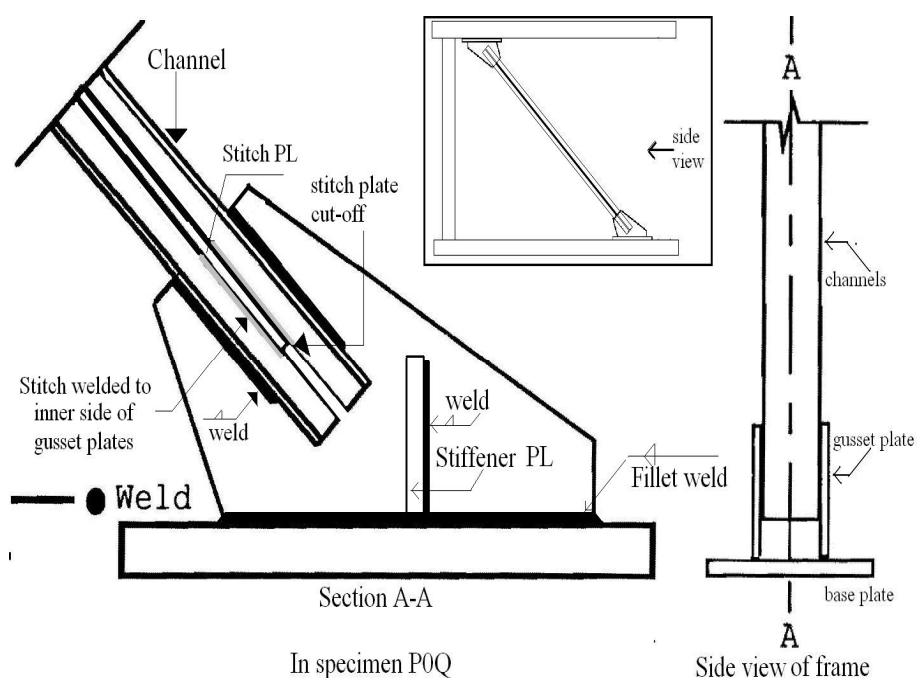
در شکل‌های ۷۰ و ۷۱ به ترتیب جزئیات نقطه‌ی قطع لقمه‌ها در یک‌چهارم طول بادبند و جزئیات اجرایی گاست آورده شده است.



شکل ۶۹: جزئیات اجرایی نمونه P0Q



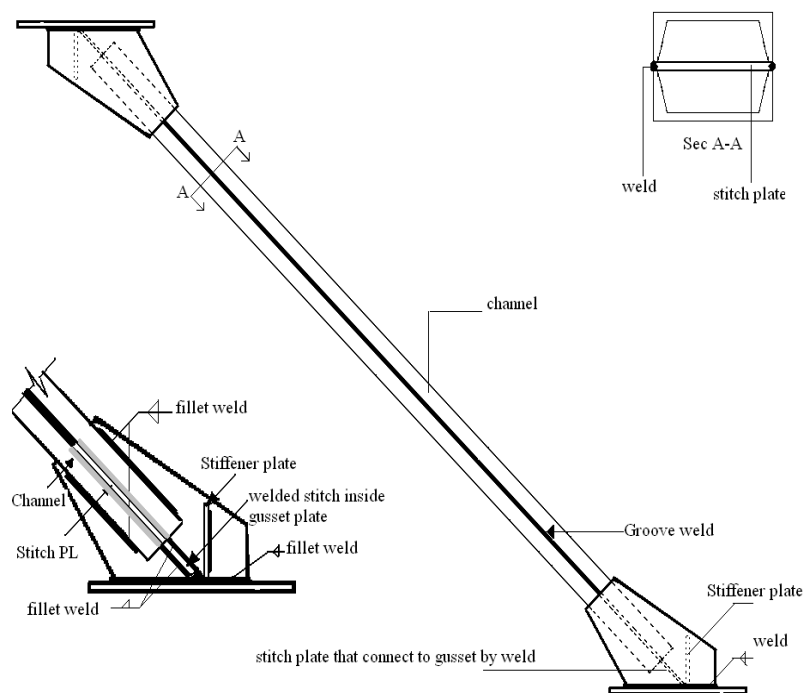
شکل ۷۰: جزئیات قطع ورق لقمه ای و جوش در نقطه یک چهارم طول عضو در نمونه P0Q



شکل ۷۱: جزئیات اجرایی گاست در نمونه POQ

### ۵.۴.۳ نمونه ی POC

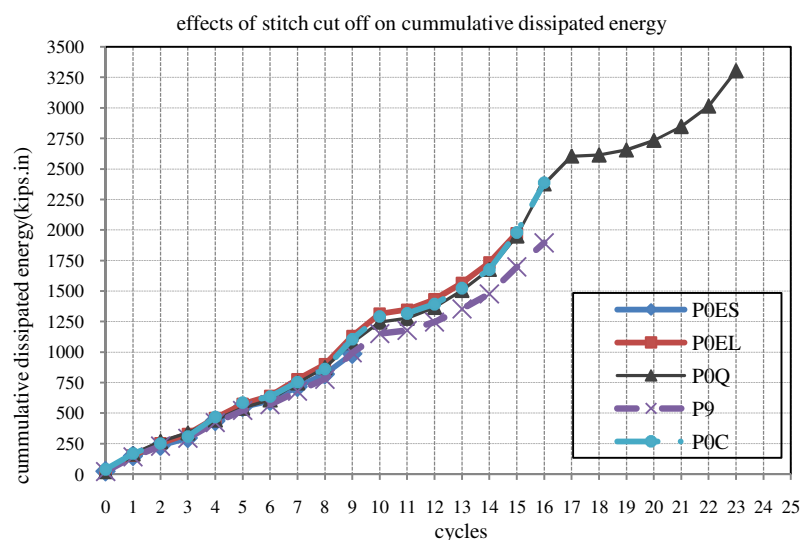
این نمونه کاملاً مشابه نمونه ی POQ است. در این نمونه، ورق لقمه‌ای و جوش کاملاً پیوسته بوده و در هیچ نقطه‌ای دارای گسستگی یا قطع نمی‌باشند. ورق لقمه‌ای نیز در این نمونه تا انتهای گاست‌ها ادامه یافته و به گاست‌ها جوش شده است. در این نمونه، دتایل اجرایی و اتصال ورق لقمه‌ای در داخل گاست‌ها به گونه‌ای است که به‌عنوان یک عضو سازه‌ای در باربری محوری کاملاً مشارکت دارد. با این وجود، این نمونه در مقایسه با نمونه ی POQ رفتار بسیار ضعیفی را نشان داده است که این مطلب می‌تواند اهمیت استفاده از نقطه‌ی قطع در یک چهارم طول آزاد بادبند را نشان دهد. ولی با این حال این نمونه از سایر نمونه‌ها غیر از POQ بهتر بوده است ولی دتایل اجرایی آن در ناحیه‌ی گاست بسیار مشکل بوده و نیاز به توجه اجرایی زیادی دارد.



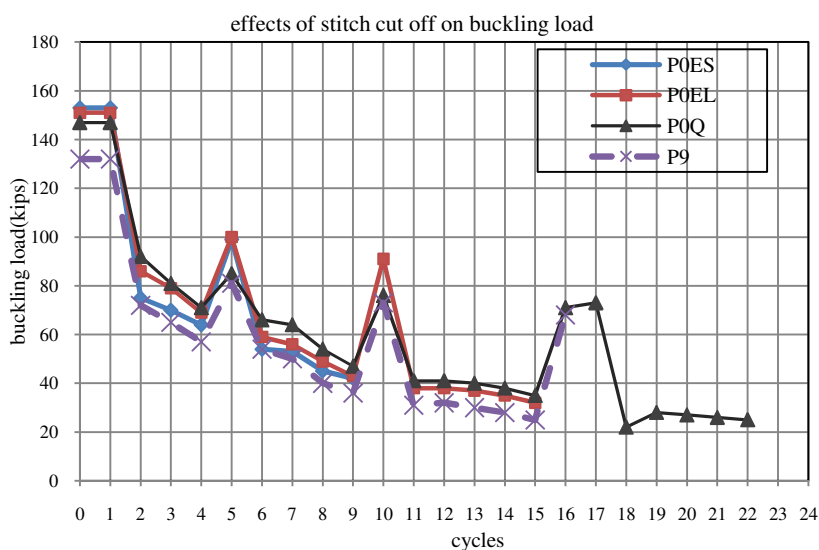
شکل ۷۲: جزئیات اجرایی نمونه P0C

### ۵.۳ مقایسه ی رفتار نمونه های دوسرگیردار با ورق لقمه و جوش

در این بند، نتایج حاصل از این گروه نمونه‌ها مقایسه گردیده است. نتایج این نمودارها به اضافه‌ی نتیجه‌ی سایر گروه‌ها، نمونه‌های P0Q و P0C را به ترتیب به عنوان اولویت‌ها و گزینه‌های برتر اجرای بادبندهای دابل ناودانی مطرح می‌نماید. در شکل ۷۳ میزان انرژی اتلافی تجمعی و در شکل ۷۴ میزان بار کمانش در هر چرخه‌ی بارگذاری نشان داده شده است.



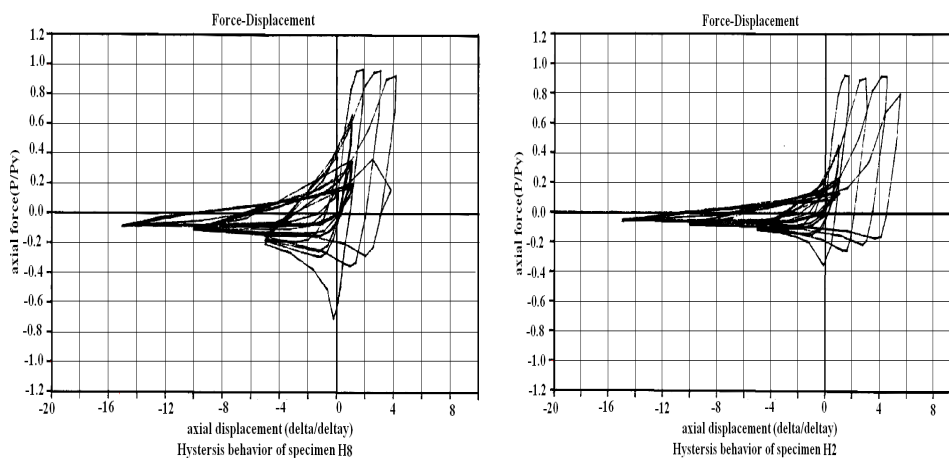
شکل ۷۳: مقایسه رفتار نمونه های دوسرگیردار دارای ورق لقمه همراه با جوش از نظر انرژی اتلافی



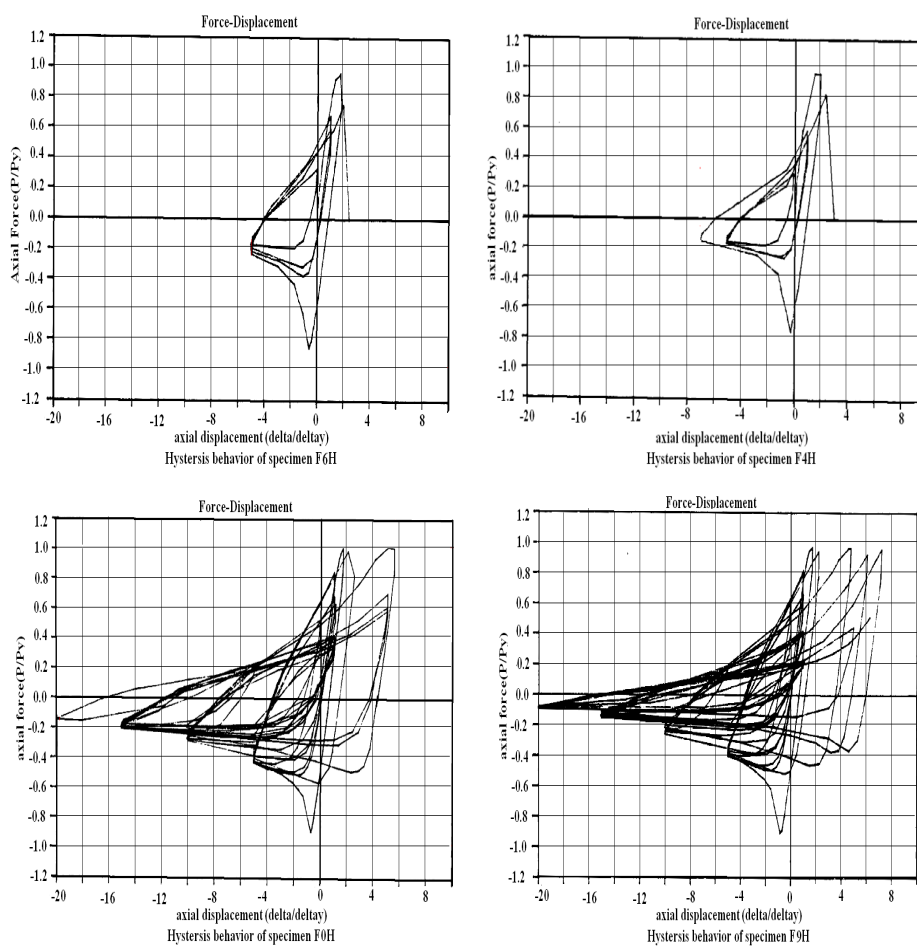
شکل ۷۴: مقایسه رفتار نمونه های دوسرگیردار دارای ورق لقمه همراه با جوش از نظر نیروی کماتش چرخه ای

### ۶.۳ مقایسه ی رفتار چرخه ای

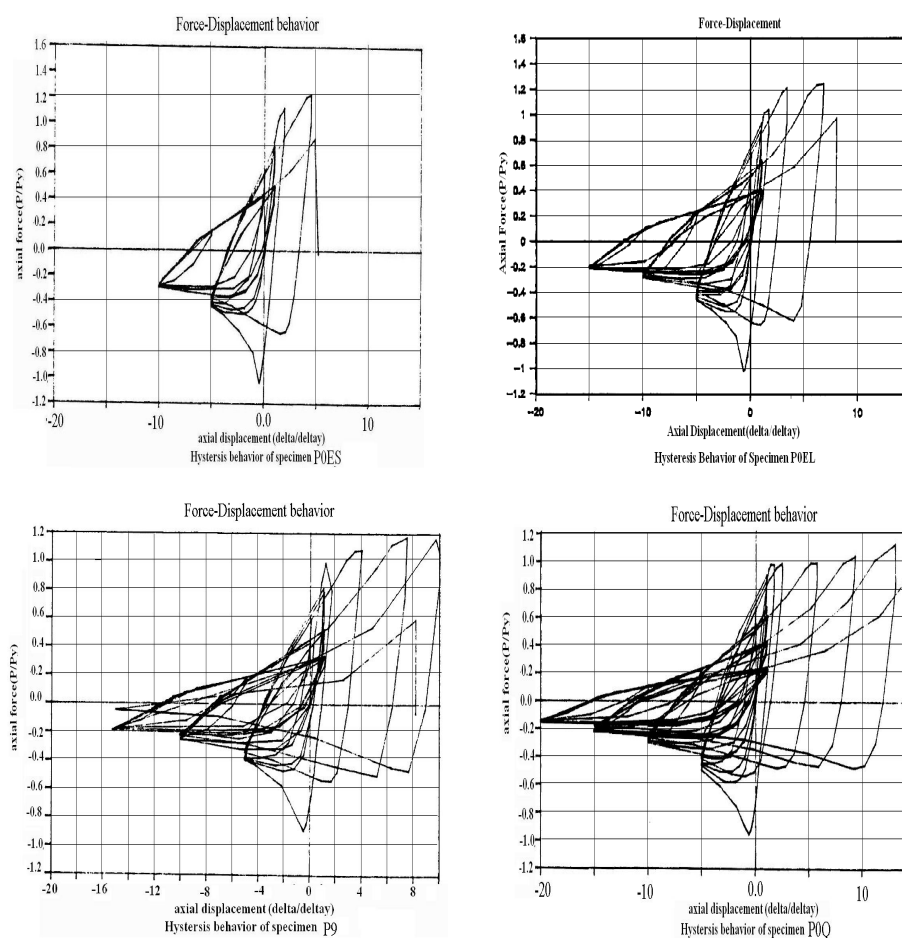
در شکل های زیر رفتار نیرو-تغییرشکل محوری برای تمامی نمونه ها آورده شده است. مقایسه ی این نمودارها، به-طور کامل، نشان از برتری نمونه های دوسرگیردار با دتایل مناسب بر نمونه های دوسر مفصل دارد. در ضمن مقایسه ی این نمودارها، استفاده از ورق های لقمه ی بیشتر و دقیق تر را نشان می دهد.



شکل ۷۵: رفتار نیرو-تغییرشکل بادبندهای دوبل ناودانی دوسر مفصل



شکل ۷۶: رفتار بادبندهای دوبل ناودانی دوسرگیردار با لقمه‌های جوشی



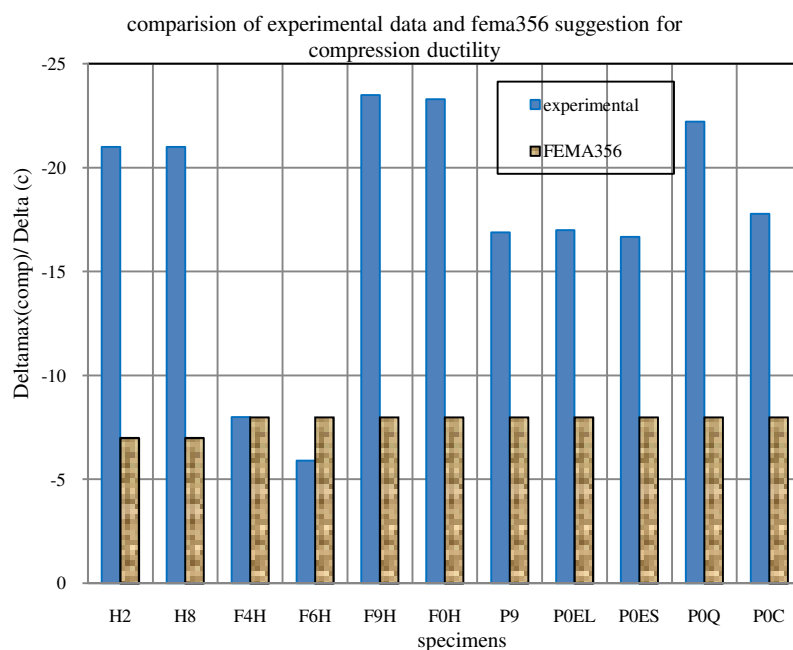
شکل ۷۷: رفتار بادبندهای دوسرگیردار با ورق لقمه‌ای به همراه جوش

### ۷.۳ مقایسه‌ی نتایج حاصله با ضوابط دستورالعمل‌ها لرزه‌ای

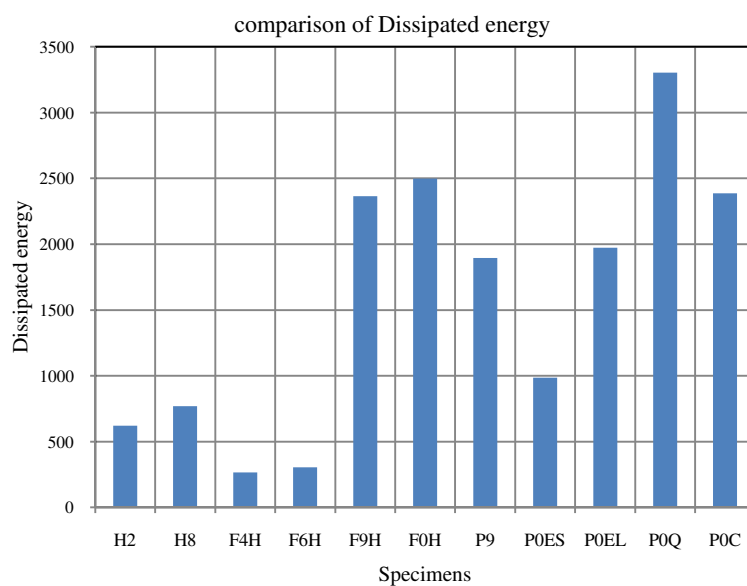
بدون شک در رابطه با رفتار شکل‌پذیر بادبندها، بهترین معیار مقایسه، نمودارهای رفتار چرخه‌ای نمونه‌هاست. نمودارهای رفتار چرخه‌ای نمونه‌ها، در بندهای قبل در قسمت‌های مربوطه بررسی گردید. لذا در این قسمت تنها میزان شکل‌پذیری نظیر گسیختگی و میزان انرژی اتلافی حاصل از نمودارها با همدیگر و با مقادیر پیشنهادی دستورالعمل fema356 برای حد آستانه‌ی فروریزش مقایسه شده است. (شکل‌های ۷۸ و ۷۹)

این مقایسه، خود به وضوح می‌تواند بهترین دتایل اجرائی برای نمونه‌های بادبندی، تعداد مناسب لقمه‌ها و میزان مطابقت ضوابط موجود با واقعیت را تا حدود زیادی آشکار نماید.

در قسمت نتیجه‌گیری سعی شده تا جمع‌بندی میزان انرژی اتلافی و شکل‌پذیری صورت گیرد و مناسب‌ترین پیشنهادات در رابطه با این مقاطع بادبندی ارائه گردد.



شکل ۷۸: مقایسه شکل پذیری بادبند‌های با مقطع دابل ناودانی لب به لب با حدود آستانه فروریزش دستورالعمل fema356



شکل ۷۹: مقایسه انرژی اتلافی بین تمامی بادبند‌های دابل ناودانی آزمایش شده



### ۸.۳ نتیجه گیری از رفتار دوبل ناودانی ها و پیشنهادات

با توجه به مواردی که در رابطه با بادبندهای مورد آزمایش قرار گرفته ذکر گردید، اجرای توصیه‌های زیر در سازه‌های بادبندی می‌تواند مفید باشد:

۱- در بادبندهای دوبل ناودانی دوسر مفصل، در صورتی که موارد زیر رعایت گردد، این بادبندها دارای رفتاری بسیار شکل‌پذیر خواهند بود. البته با رعایت این نکات نیز نمی‌توان میزان اتلاف انرژی این‌گونه مقاطع را به میزان اتلاف انرژی مقاطع دوسر گیردار رساند لیکن به علت استفاده‌ی زیاد از این نوع بادبند و سهولت اجرای آن، رعایت نکات اشاره شده تا حدود زیادی می‌تواند رفتاری مناسب را در بر داشته باشد.

الف) ضابطه‌ی AISC 341-05 (seismic provision) برای تعیین فاصله‌ی لقمه‌ها رعایت شود. البته هر چه میزان فاصله‌ی لقمه‌ها، کم‌تر اختیار شود نه تنها لطمه‌ای به رفتار بادبند نمی‌زند بلکه باعث بهتر شدن شکل‌پذیری بادبند خواهد شد.

ب) برای محاسبه‌ی جوش هر مقطع تک بادبند به یک‌طرف ورق گاست، علاوه بر نیروی محوری نظیر تسلیم بادبند، لنگر خمشی ناشی از برون محوری این بار نسبت به سطح ورق گاست نیز در نظر گرفته شود.

ج) فاصله‌ی آزاد پیشنهادی توسط آستانه‌ی اصل که برابر  $2t_p$  می‌باشد، رعایت گردد. البته براساس تحقیقات صورت گرفته روش مناسب‌تری با دتایل فاصله‌ی آزاد بیضی‌گون نیز توسط Lehman، Roeder و همکارانشان ارائه گردیده است که استفاده از این دتایل، شکل‌پذیری را خواهد افزود.

۲- در مقاطع بادبندی دوسرگیردار با لقمه‌ی جوشی، در صورت استفاده از تعداد لقمه‌ی جوشی مناسب و طول جوش لقمه‌ای مناسب، این مقاطع دارای شکل‌پذیری بسیار مناسب و میزان اتلاف انرژی بسیار زیادی هستند. استفاده از این نمونه‌ها از طرفی دارای رفتار شکل‌پذیر بسیار مطلوب است و از طرف دیگر به علت دو سرگیردار بودن، لاغری عضو را می‌کاهد، بار کمانش را می‌افزاید و نیز جواب گرفتن اعضا طبق آیین‌نامه‌های مقاوم‌سازی فعلی را میسر می‌سازد. (همان‌طور که می‌دانیم مبنای ضوابط در فشار در آیین‌نامه‌های فعلی ضرایبی از  $\Delta c$  است، از این‌رو کاستن لاغری عضو و به تبع آن، افزودن بار کمانش می‌تواند اعضا را جوابگو سازد. البته این جوابگو بودن کاملاً بر مبنای واقعیت بوده و جنبه‌ی دور زدن آیین‌نامه‌ها را ندارد.)

نتایج نشان می‌دهد که استفاده از ضابطه‌های ارائه شده توسط آیین‌نامه‌های AISC360-05, AISC341-05 نمی‌تواند مقداری اطمینان بخش را برای فاصله‌ی لقمه‌ها به دست دهد، لذا استفاده از ضابطه‌ی پیشنهادی  $(K.a/ri) < 0.20(K.L/r)$  برای تعیین فاصله‌ی لقمه‌های جوشی توصیه می‌گردد. البته بهترین حالت استفاده از لقمه‌ی جوشی ممتد می‌باشد که ضریب اطمینان بسیار بالاتری را خواهد داشت. (شکل‌های ۵ و ۶)

در اجرای این گونه بادبندها:

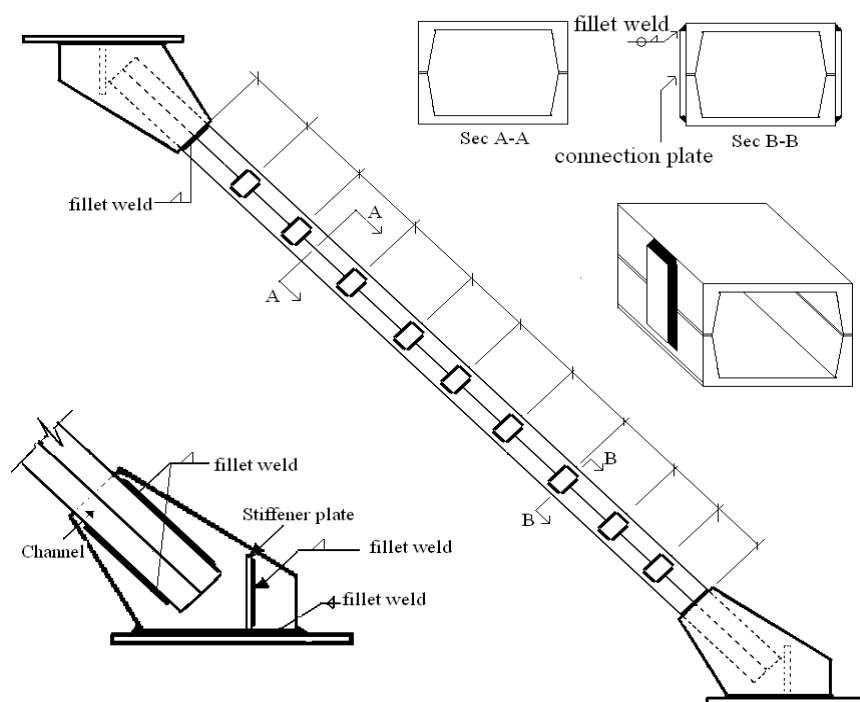
رعایت فاصله‌ی آزاد  $2tp$  لازم نیست چراکه کماتش عضو به صورت درون صفحه است و شکل پذیری برون صفحه‌ی گاست مورد نیاز نمی‌باشد. (شکل ۵۵)

استفاده از ورق سخت‌کننده در بین دو گاست در هر انتها، برای همکاری بیشتر دو گاست لازم می‌باشد. (شکل ۷) این دتایل ورق گاست، برای نمونه‌های بادبند نوردشده‌ی I شکل دو سر گیردار نیز بسیار مناسب می‌باشد.

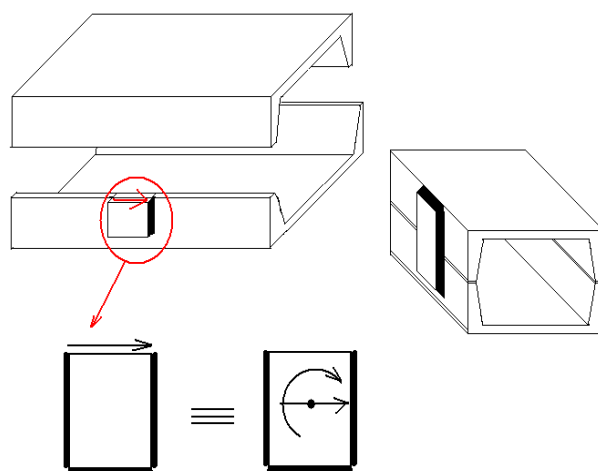
حتی‌الامکان بایستی جوش اتصال‌دهنده‌ی دو بادبند دارای نفوذ کافی باشد.

به جای استفاده از جوش، به عنوان تنها اتصال‌دهنده‌ی دو مقطع ناودانی (مانند آنچه در نمونه‌های F9H و F0H دیده می‌شود)، استفاده از ورق اتصال‌دهنده بال‌های دو ناودانی (شکل ۸۰)، می‌تواند مناسب باشد لیکن بایستی رفتار جوش دور تا دور این ورق‌های اتصال بیشتر بررسی گردد و با دقت بیشتری اجرا گردد چراکه در دتایل ارائه شده در آزمایش که اتصال‌دهنده‌ها صرفاً جوش می‌باشند، محل قرارگیری جوش اتصال دو بادبند بر روی خط کرنش صفر است یعنی به جوش کرنش‌های زیادی وارد نمی‌گردد اما در صورت استفاده از ورق‌های اتصال بال، این جوش‌ها بر روی خط کرنش صفر قرار نمی‌گیرند و از این رو بایستی برای اثرات پیچش هم محاسبه گردند. (شکل ۸۱)

در صورتی که از این اتصال استفاده گردد نیز توصیه می‌شود تا رابطه‌ی  $(K.a/ri) < 0.20(K.L/r)$  برای تعیین فاصله‌ی لقمه‌ها حتماً رعایت شود.

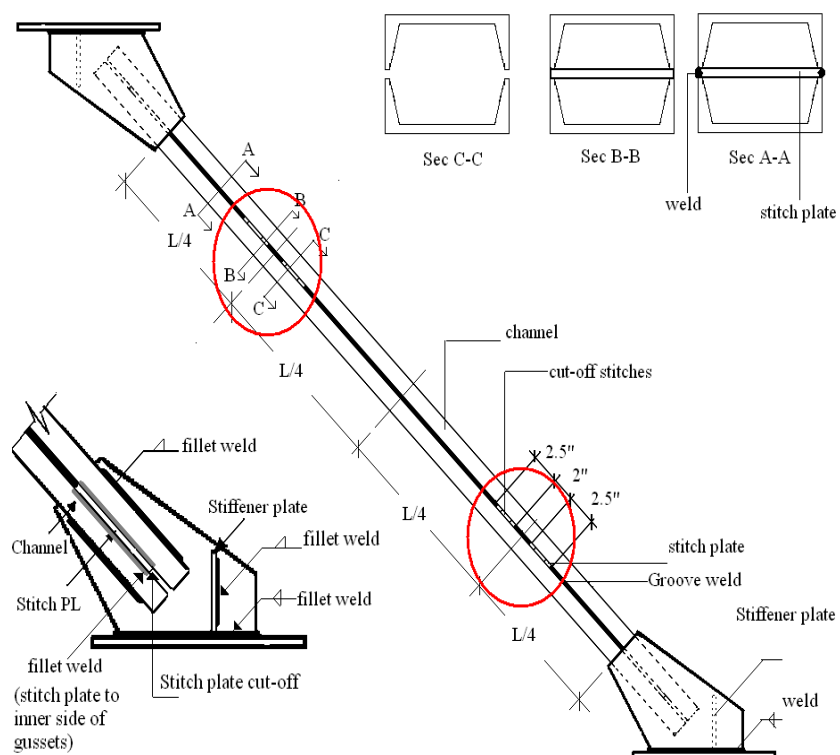


شکل ۸۰: دتایل پیشنهادی اجرائی برای نمونه های دوسرگیردار با ورق بال جوشی



شکل ۸۱: الزامات جوش ورق های لقمه ای بال ناودانی

۳- در مقاطع دوبر ناودانی دوسرگیردار با لقمه و جوش، بهترین رفتار را به گونه ای که بسیار مطلوب باشد می-توان به دست آورد، لیکن برای رسیدن به این رفتار بسیار مطلوب اکیداً توصیه می گردد که دتایل اجرائی نمونه-ی POQ مد نظر قرار گیرد. (شکل ۸۲) البته توضیحات بیشتر راجع به این دتایل در شکل های ۶۹، ۷۰ و ۷۱ آورده شده است.



شکل ۸۲: بهترین و کاراترین دتایل اجرایی برای بادبندهای با مقطع دابل ناودانی لب به لب دوسرگیردار

# بخش دوم

## افق های جدید در طراحی اتصالات مهاربند

تهیه و تنظیم : علیرضا مهدیزاده

## ۴- پیشینه تحقیقات در زمینه ورق های اتصال

هر چند که اصول اولیه طراحی قاب های مهاربندی شده و ورق های اتصال از زمان ابداع تا کنون تغییرات چشمگیری نداشته است اما جزئیات طراحی این گونه از قابها بالاخص در محدوده اتصالات آنها، همواره سیر صعودی فزاینده ای را طی نموده است. قابهای مهاربند همگرا با وجود سادگی در طراحی، پیچیدگی زیادی در هنگام رفتار لرزه ای از خود نشان می دهند، به گونه ای که می توان گفت رفتار لرزه ای این گونه از قابها هنوز به خوبی شناخته نشده است و همچنان حجم زیادی از تحقیقات محققین را به خود اختصاص می دهد.

### ۱.۴ مقدمه

به طور کلی می توان گفت تحقیق در زمینه قابهای مهاربندی در سه دسته کلی جای می گیرد.

- دسته اول تحقیق در خصوص المان مهاربند می باشد، بررسی چرخه های پسماند، معیارهای پذیرش، میزان شکل پذیری انواع مقاطع در این دسته جای دارد.
- دسته دوم تحقیق در خصوص اجزای اتصال المان مهاربند به قاب می باشد. بررسی ظرفیت کششی و فشاری، برش قالبی در ورق اتصال، نحوه طراحی ورق اتصال و ... از این دسته می باشد.
- بررسی عملکرد کلی قاب مهاربندی شده.

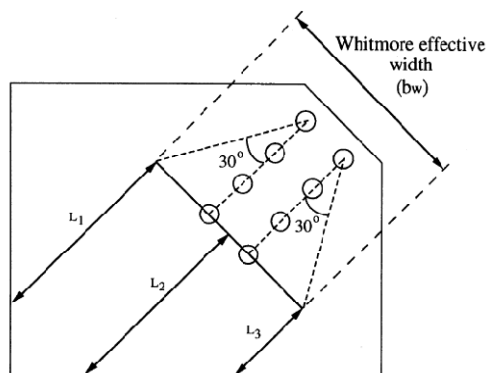
پیشینه تحقیقاتی که در این قسمت ذکر می گردد، مختص زمینه تحقیقاتی دوم می باشد. قابل ذکر است که با رویکرد های جدیدی که در طراحی قابهای مهاربندی در سال های اخیر مطرح گردیده است، بررسی هم زمان این سه زمینه تحقیقاتی اجتناب ناپذیر گردیده است.

### ۲.۴ ظرفیت کششی و فشاری ورق مهاربند

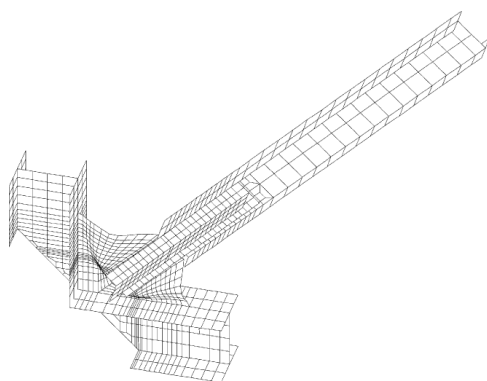
به طور کلی تا اواخر دهه ۷۰ میلادی بررسی عملکرد ورق های اتصال در محدوده ارتجاعی مواد و تحت بار کششی بوده است، آزمایشات آقای ویتور در سال ۱۹۵۲ از برجسته ترین این کارها می باشد که طی آن روشی

جهت تعیین عرض موثر ورق مهاربند در طرح کششی گاست مطرح گردید<sup>۱</sup>. کلیه تحقیقات بعد از ایشان نیز موید این روش بوده است.

از اوایل دهه ۸۰ میلادی ظرفیت فشاری ورق های مهاربند مورد توجه محققین قرار گرفت مطالعات آقای تورنتون در سال ۱۹۸۴ از مهمترین آنها بود که طی آن روشی جهت تعیین کرانه پایین ظرفیت فشاری ورق های مهاربند ارائه گردیده است. در این روش از یک نوار با عرض واحد و طول مشخصه ای برابر با بزرگترین طول  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  و ضریب طول موثر  $K=0.65$  استفاده می گردد. مقاومت کمانش ارتجاعی این نوار فرضی، محاسبه شده و در عرض موثر ویت مور ضرب می شود. ایشان پیش بینی نمود که این رابطه یک تخمین محافظه کارانه از ظرفیت فشاری ورق اتصال باشد، لذا پیش بینی نموده است که یک طول موثر کوتاه تر برای تخمین این ظرفیت می تواند مناسب تر باشد.



شکل ۸۳: طول مشخصه نوار واحد به منظور محاسبه ظرفیت فشاری ورق

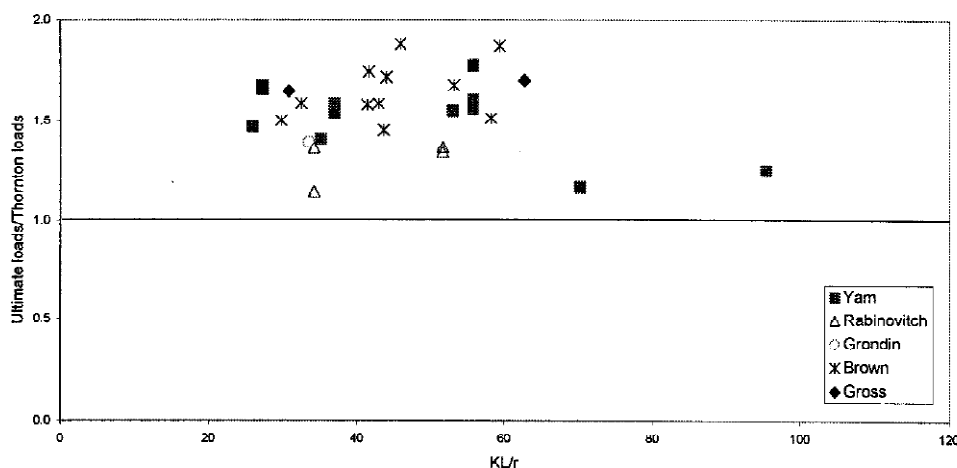


شکل ۸۴: نمونه ای از کمانش ورق اتصال مهاربند در تحلیل های المان محدود

<sup>1</sup> Whitmore, R. E., (1952), "Experimental investigation of stresses in gusset plates", Bulletin No. 16, Engineering Experiment Station, Univ. of Tennessee, Knoxville, May.

کلیه نتایج تحقیقاتی که بعد از مطالعات آقای تورنتون بر روی ظرفیت فشاری ورق های مهاربند صورت گرفته است، نشان دهنده این واقعیت است که روابط پیشنهادی تورنتون ظرفیت فشاری ورق های مهاربند را دست پایین به دست می آورد. در برخی از مطالعات آزمایشگاهی میانگین ظرفیت فشاری واقعی ورق ها تا ۷۰ درصد نسبت به روابط تورنتون بیشتر گزارش شده است.<sup>۱</sup> بر همین اساس محققین با تغییر طول نوار فرضی مورد محاسبه، ضریب لاغری  $K$  و طول مشخصه نوار فرضی، اصلاح روابط پرداخته اند. برخی از ایشان به جای استفاده از ضریب طول موثر  $K = 0.65$  از عدد  $K = 0.5$  استفاده نموده اند.<sup>۲</sup> برخی دیگر به جای استفاده از بزرگترین طول  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  از میانگین این طول ها استفاده نموده اند و برخی از محققین نیز به جای استفاده از زاویه ۳۰ درجه در محاسبه عرض ویتور از زاویه ۴۵ درجه استفاده نموده اند<sup>۳</sup> و آن را تورنتون اصلاح شده نامیده اند. این رابطه که در سال ۲۰۰۶ توسط آقای ردر و همکارانش پیشنهاد گردیده است از دقت مناسبی برخوردار است.

در شکل ۸۵ و شکل ۸۶ نمونه ای از نتایج به دست آمده برای ظرفیت فشاری ورق اتصال در مطالعات آزمایشگاهی محققین مختلف در مقایسه با رابطه پیشنهادی تورنتون و تورنتون اصلاح شده نشان داده شده است.



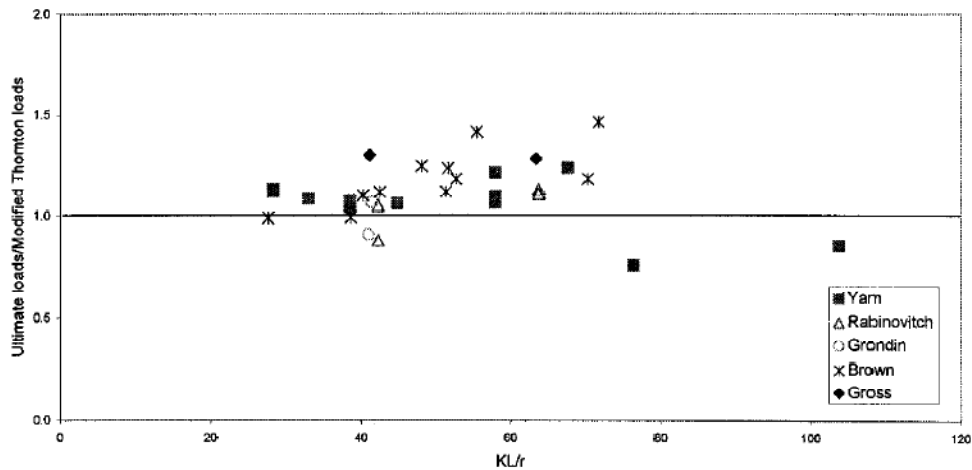
شکل ۸۵: دقت رابطه تورنتون در پیش بینی کماتش ورق اتصال

<sup>1</sup> Yam, M.C.H. and Cheng, J.J.R. (1993); "Experimental Investigation of the Compressive Behavior of Gusset Plate Connections". Structural Engineering Report No. 194. Edmonton, Alberta : University of Alberta Department of Civil and Environmental Engineering, 1993

<sup>2</sup> Gross J.L. (1990), "Experimental study of gusseted connections". Eng J, AISC, 27(3):89-97.

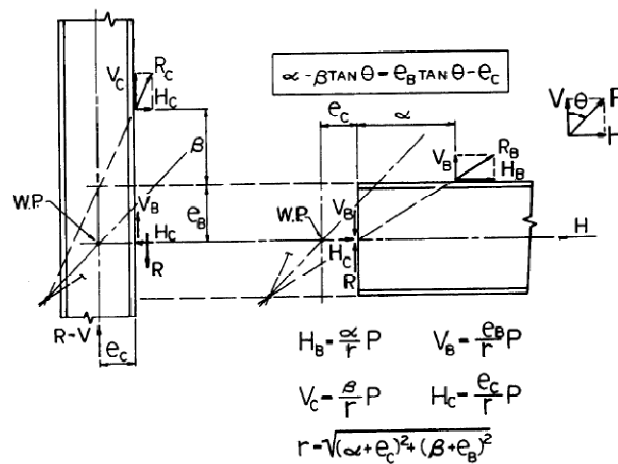
<sup>3</sup> Yam, M.C.H. and Cheng, J.J.R. (1993) "Experimental Investigation of the Compressive Behavior of Gusset Plate Connections". Structural Engineering Report No. 194. University of Alberta





شکل ۸۶: دقت رابطه تورنتون اصلاح شده در پیش بینی کماتش ورق اتصال

آقای تورنتون در ادامه مطالعات خود در سال ۱۹۹۱ روشی را جهت طراحی اتصال ورق مهاربند به تیر و ستون ارائه نمودند که تا کنون متداول ترین روش طراحی این اتصال می باشد<sup>۱</sup>. این روش به روش بار یکنواخت (Uniform Force Method) معروف است.



شکل ۸۷: محاسبه ابعاد ورق اتصال مهاربند در روش بار یکنواخت

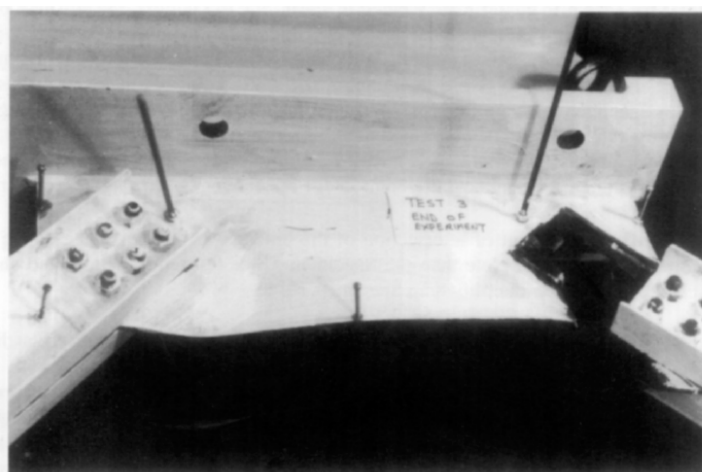
<sup>1</sup> Thornton, W. (1991), "A cost comparison of some methods for design of bracing connections", in Connections in Steel Structures II, Proceedings, 2nd International Workshop on Connections in Steel Structures, April 10-12.

### ۳.۴ کمانش لبه آزاد ورق مهاربند

علاوه بر کمانش کلی ورق اتصال در اواخر دهه ۹۰ موضوع کمانش لبه آزاد ورق اتصال مهاربند مورد توجه محققین قرار گرفت. در سال ۱۹۸۸ آقای بران به بررسی این موضوع پرداخت و محدودیت زیر را برای لبه آزاد ورق های اتصال پیشنهاد نمود<sup>۱</sup>.

$$\frac{L_{fG}}{t_G} \leq 0.83 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

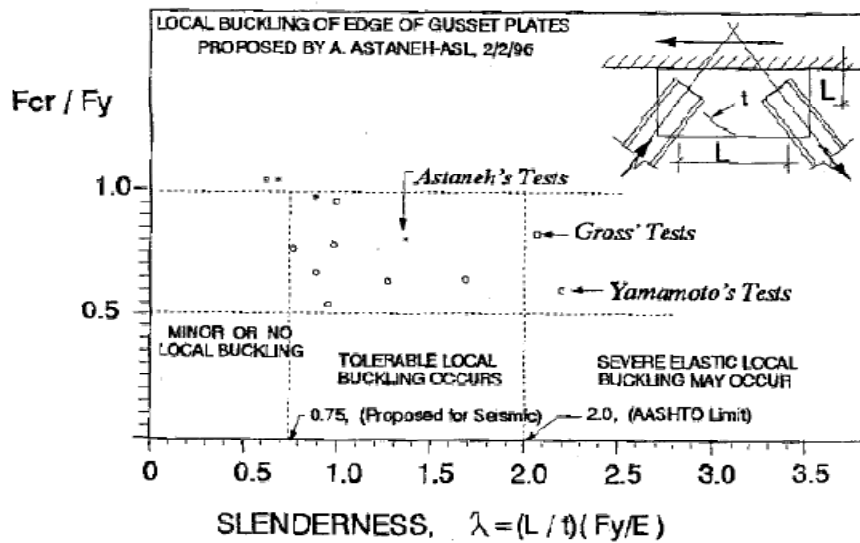
در سال ۱۹۹۱ در مطالعات آقای آستانه این رابطه مورد بررسی مجدد قرار گرفت. و ضریب 0.83 پیشنهادی آقای بران به 0.75 تقلیل یافت. علت این تغییر ناشی از مدل بارگذاری این دو محقق بود. در مطالعات آقای بران بارگذاری به صورت یکنوا بوده است در حالی که مطالعات آقای آستانه تحت بار چرخه‌ای انجام پذیرفته است و این تفاوت بارگذاری باعث اندکی تقلیل ظرفیت ورق اتصال گردیده است. کلیه آزمایشاتی که در این سال به منظور بررسی لبه آزاد ورق های مهاربند صورت گرفته است در ورق اتصال مهار بندهای ۸و۷ در محل اتصال به تیر بوده است. این ورق ها معمولا تحت تنش های ترکیبی شدیدی در هنگام کمانش یکی از مهاربند ها قرار می‌گیرد.



شکل ۸۸: کمانش ورق مهاربند در بادبند ۸ در محل اتصال به تیر

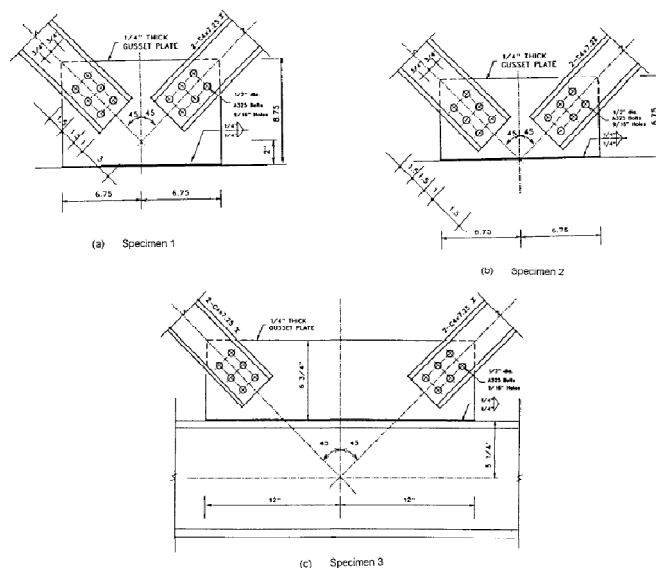
در شکل زیر در شکل زیر نمونه ای از نتایج به دست آمده برای ظرفیت فشاری ورق اتصال در مطالعات آزمایشگاهی محققین مختلف در مقایسه با رابطه پیشنهادی آقای آستانه، آقای بران و آیین نامه آشتو نشان داده شده است.

1 Brown, V.L.S., (1988) "Stability of Gusset Connections in Steel Structures", Doctoral Dissertation, Depart. Of Civil Engrg., Univ. of Delaware.



شکل ۸۹: کاهش ظرفیت ورق اتصال به علت کمانش لبه آزاد ورق

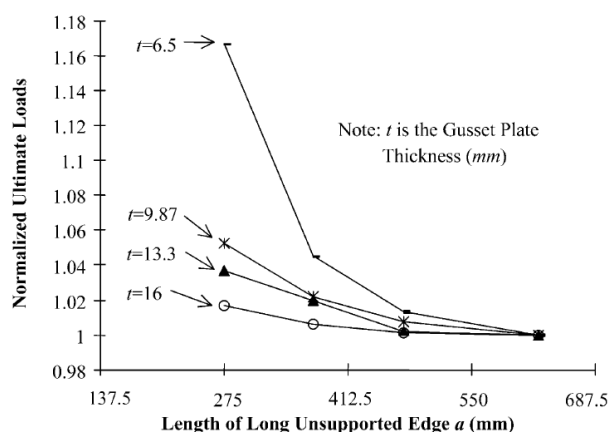
ایشان در مطالعات سال ۱۹۹۱ خود اثر نقطه هم رسی مهاربند های V شکل را در محل اتصال مهاربند با میانه تیر در شکل پذیری آن مورد بررسی قرار داد. در نمونه اول نقطه هم رسی محور مهاربند ها و جوش ورق اتصال مهاربند به شاهیتر به اندازه 2" فاصله داشت و در نمونه دوم نقطه هم رسی محور مهاربند ها منطبق بر جوش اتصال ورق به تیر بود. نمونه سوم هر سه محور مهاربند ها و شاهیتر در یک نقطه با هم تلاقی داشتند. بهترین عملکرد در آزمایش های ایشان از آن. در شکل زیر نمونه های مورد آزمایش توسط ایشان نشان داده شده است.



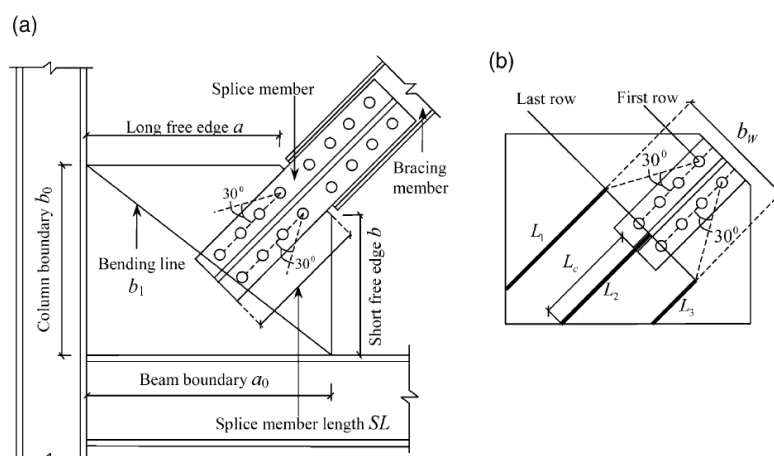
شکل ۹۰: بررسی اثر نقطه هم رسی اتصال مهاربند های V در شکل پذیری آنها

در سال ۲۰۰۱ شنگ و همکارانش مطالعات جامعی در خصوص رفتار گاست ها در فشار انجام دادند<sup>۱</sup>. در مطالعات ایشان طول مهارنشده ورق اتصال، شکل ورق اتصال، نحوه اتصال، اثر سخت کننده ها و طول آنها در ظرفیت فشاری ورق مهاربند مورد بررسی قرار گرفت.

ایشان در مطالعات خود نشان دادند هنگامی که نسبت طول مهار نشده ورق اتصال به ضخامت آن از مقدار مشخصی بیشتر می گردد با کاهش شدید ظرفیت فشاری ورق اتصال روبرو می گردیم. شکل زیر که برگرفته از مطالعات ایشان است، به خوبی می تواند اثر طول مهارنشده ورق اتصال را در ظرفیت نهایی فشاری ورق اتصال نشان دهد.



شکل ۹۱: اثر طول مهارنشده ورق اتصال در ظرفیت نهایی فشاری ورق اتصال



شکل ۹۲: شکل کلی ورق اتصال مورد مطالعه توسط شنگ و همکارانش

<sup>1</sup> M.C.H. Yama, , J.J.R. Cheng, (2001) "Analytical investigation and the design of the compressive strength of steel gusset plate connections" Journal of Constructional Steel Research 58 (2002) 1143–1159

بر همین اساس ایشان رابطه زیر را جهت کنترل طول مهار نشده ورق اتصال ارائه نمودند.

$$\frac{a}{t} \leq \frac{945}{\sqrt{F_y}}$$

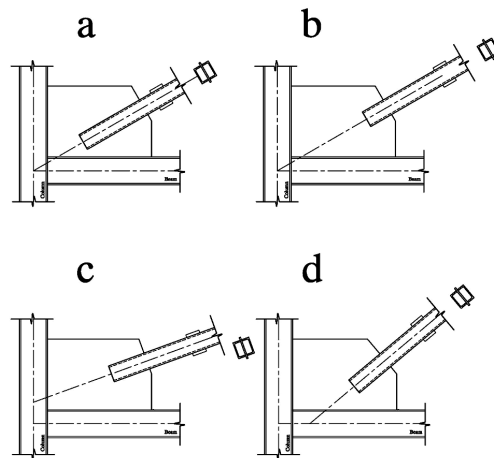
از نتایج جالب تحقیق ایشان اثر سخت کننده ها در ظرفیت فشاری ورق اتصال است. که کمتر توسط محققین مورد توجه قرار گرفته است. ایشان اثر دو نوع از سخت کننده را در مطالعات خود بررسی نمودند. سخت کننده لبه ورق اتصال و سخت کننده در راستای محور مهاربند. ایشان نشان دادند که برای ورق ها فشرده ( $\frac{a}{t} \ll \frac{945}{\sqrt{F_y}}$ ) افزودن سخت کننده به لبه آزاد ورق تاثیر چشمگیری در افزایش مقاومت فشاری آن نخواهد داشت در حالی که سخت کننده در راستای محور مهاربند ظرفیت فشاری هر نوع ورقی را می تواند تا ۲ برابر افزایش دهد.

ایشان همچنین نشان دادند که ورق اتصالی که در آن از جوش به منظور اتصال مهاربند استفاده گردیده باشد، ظرفیت فشاری ورق ۱۰ تا ۲۰ درصد بیش تر از ورق اتصالی است که در آن از پیچ استفاده گردیده است. علت این موضوع توزیع بهتر نیروها در ورق اتصالی در صورت استفاده از جوش می باشد.

#### ۴.۴ نگارنده

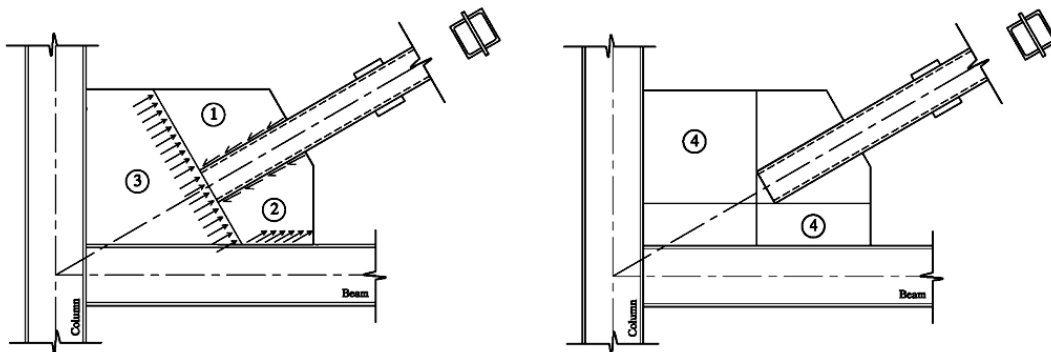
نگارنده معتقد است که کنترل کمانش لبه آزاد ورق اتصال یا کمانش کلی ورق اتصال مباحثی نیستند که بتوان آنها را از یکدیگر مجزا کرد. پراکندگی زیاد اطلاعات حول محورهای پیشنهادی محققین حاکی از نقص روابطی است که تا کنون ارائه گردیده است. عدم در نظر گرفتن پارامترهای تعیین کننده ای مانند طول جوش مهاربند بر روی ورق اتصال و یا زاویه مهاربند با ورق اتصال از اشکالات اساسی است که بر روابط موجود وارد است. به اعتقاد نگارنده در صورت در نظر گرفتن چنین پارامترهایی دیگر نیازی به مجزا نمودن روابط کمانش لبه آزاد ورق اتصال یا کمانش کلی ورق نخواهد بود و بحث و گمانه زنی ها در خصوص لزوم کنترل کمانش لبه آزاد پایان خواهد یافت.

به عنوان نمونه به شکل ۹۳ توجه نمایید. در شکل ۱۱ نسبت طول مهارنشده به ضخامت ورق اتصال در کل نمونه ها یکسان است. اما همگی اتفاق نظر داریم که ظرفیت کمانش لبه آزاد ورق در مدل a و b همچنین مدل c و d متفاوت است. این مثال ساده نشان می دهد که تا چه اندازه پارامترهایی مانند طول جوش مهاربند در ورق اتصال و یا زاویه مهاربند می تواند مهم باشد.



شکل ۹۳: تغییر زاویه و طول جوش در یک ورق اتصال با ابعاد ثابت

به نظر نگارنده ورق اتصال مهاربند باید به چهار ناحیه جدا از هم تقسیم شده و کنترل ظرفیت فشاری برای هر ناحیه با توجه به نوع گیرداری لبه ورق ها و نیروهای وارده کنترل گردد. در شکل ۹۴ تقسیم بندی ورق اتصال نشان داده شده است. با این تقسیم بندی زاویه مهاربند و طول اتصال مهاربند در ورق اتصال در محاسبات لحاظ خواهد شد. به هر ترتیب تدقیق چنین مدلی نیاز به مطالعات گسترده ای دارد تا به روابط ساده و قابل استفاده مهندسان تبدیل گردد.



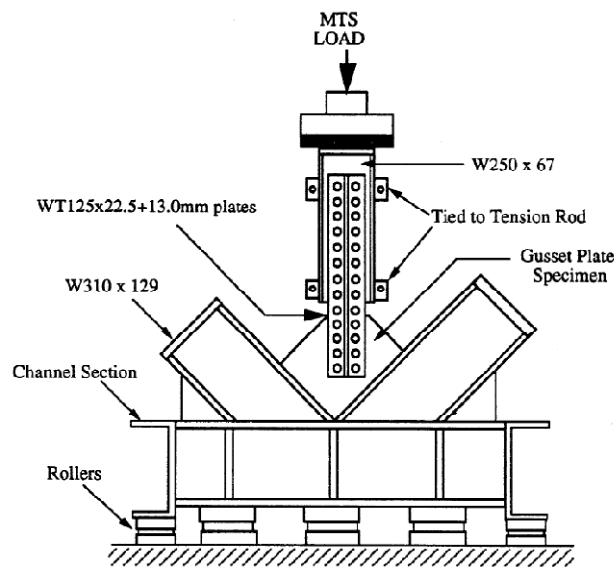
شکل ۹۴: تقسیم بندی ورق اتصال جهت مطالعه ظرفیت فشاری

## ۵.۴ بررسی مهاربند تحت بارگذاری چرخه ای

تا اواسط دهه ۹۰ اغلب آزمایش هایی که بر روی ورق اتصال قاب مهاربندی صورت گرفته است به صورت بار یکنوا بوده است، شاید بتوان گفت اولین آزمایش بار گذاری چرخه ای بر روی ورق های اتصال توسط آقایان آستانه

اصل، گل و هانسن در سال ۱۹۸۲ انجام شده است<sup>۱</sup>. لزوم رعایت خط آزاد خمشی در ورق های اتصال به فاصله  $2t_p$  از انتهای مهاربند، در همین سال و از نتایج تحقیقات مذکور بوده است.

در اغلب تحقیقاتی آزمایشگاهی که تا اوایل قرن ۲۱ صورت گرفته است، از ساختن قاب کامل مهاربند در نمونه های آزمایشگاهی اجتناب گردیده است. نمونه ای از مدل های مورد استفاده در طی این سال ها در شکل زیر نشان داده شده است. چنین مدلی در مطالعات آزمایشگاهی محققین زیادی دیده می شود. شاید بتوان گفت که مدل آزمایشگاهی مورد استفاده آقای آستانه یکی از دقیق ترین مدل های به کار گرفته شده در طی این سال ها بوده است، که در آن اثر هم زمان نیرو در مهاربند و ورق اتصال دیده شده است.



شکل ۹۵: نمونه ای از مدل های مورد استفاده محققین در مطالعات آزمایشگاهی

در مطالعاتی که در سال ۲۰۰۴ توسط آقای ردر و خانم لمان (C.Roeder & E.Lehman) صورت گرفت مشاهده گردید که اندرکنش قاب مهاربند و ورق اتصال تاثیر چشمگیری در رفتار قاب مهاربندی شده و ورق اتصال در حیطه رفتار غیر ارتجاعی خواهد گذاشت<sup>۲</sup>. بر همین اساس مطالعات گسترده ای توسط ایشان به منظور بهبود عملکرد قاب های مهاربندی صورت گرفت. پیش از این آقای ردر در سال ۲۰۰۲ روشی را به منظور ایجاد تعادل بین مکانیزم ها جاری شدن و گسیختگی در قاب های مهاربندی پیشنهاد نموده بود که نیازمند مطالعه هم زمان قاب

1 Astaneh-Asl, A., Goel, S. C., and Hanson, R. D. (1982). "Cyclic behavior of double angle bracingmembers with end gusset plates", Report no. UMEE 82R7, University of Michigan, Ann Arbor.

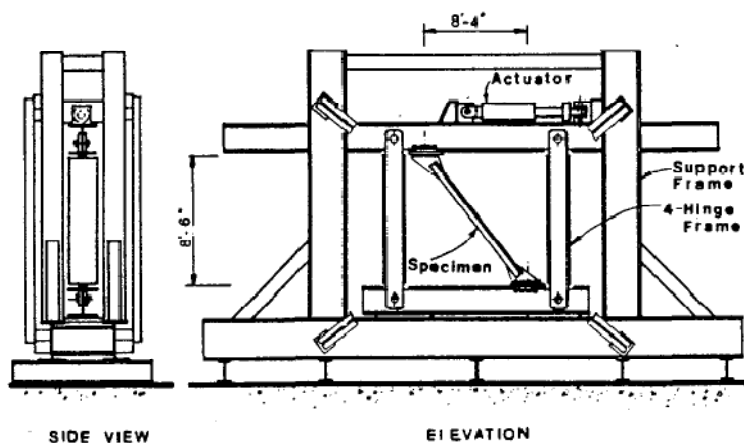
2 C.Roeder, D.Lehman, J.Yoo, (2004) "Performance-Based Seismic Design of Braced-Frames Gusset Plate Connections" 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada

مهاربندی شده و ورق اتصال آن بوده است. مطالعات ایشان در سال های ۲۰۰۵ تا کنون بر روی تعیین پارامترهای تعیین کننده این روش متمرکز گردیده است.



## ۵- خط آزاد خمش ورق اتصال، خط مستقیم عمود بر محور مهاربند

لزوم رعایت خط آزاد خمش در طرح لرزه ای قاب های مهاربندی شده، برای اولین بار در سال ۱۹۸۲ توسط دکتر ابوالحسن آستانه اصل مطرح شد و نتایج حاصل از آن مطالعات به طور خلاصه در سال ۱۹۹۸ در گزارشی از سری گزارش های Steel TIPS که به طرح لرزه ای ورق های مهاربند می پرداخت، توسط ایشان منتشر گردید<sup>۱</sup>. این گزارش که بر پایه یک سری کامل از آزمایش های انجام شده در سال ۱۹۸۲ بنا شده بود، در خصوص رفتار لرزه ای ورق های مهاربند و الزامات طرح لرزه ای آنها بود. در این آزمایش ها ۱۷ بادبند که مقطع آنها نبشی جفت بوده است، تحت بارگذاری چرخه ای قرار گرفتند. یک نمونه از مجموعه آزمایش در شکل ۹۶ قابل ملاحظه است.

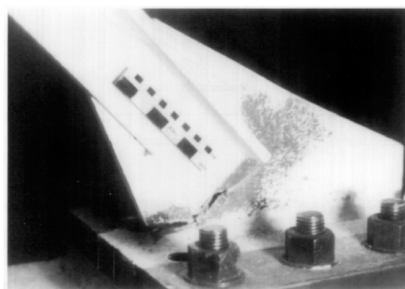


شکل ۹۶: مجموعه مورد استفاده در آزمایشات آستانه اصل

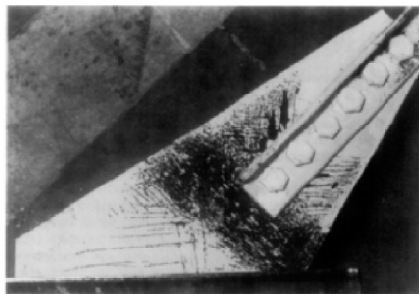
تحقیقات ایشان نشان داد که رفتار چرخه ای ورق های اتصال در قاب های مهار شده به طور عمده به راستای کمانش عضو مهاربندی بستگی دارد. هنگامی که عضو مهاربندی در صفحه قاب مهار شده کمانش می کند سه مفصل پلاستیک در عضو شکل می گیرد. یکی در وسط طول عضو و دیگری در دو سر عضو دقیقاً بیرون ورق اتصال. بنابراین در این آزمایش، ورق اتصال تقریباً بطور کامل ارتجاعی باقی می ماند. هنگامی که عضو مهاربندی خارج از صفحه قاب مهاربندی کمانش می کند یکی از سه مفصل پلاستیک باز هم در میانه طول عضو شکل می گیرد. اما دو مفصل دیگر درون ورق اتصال تشکیل می گردد. تشکیل مفصل پلاستیک در ورق اتصال به این معنی است که ورق

<sup>1</sup> A.Astaneh-asl (1998) "Seismic behavior and design of gusset plate" Steel TIPS Series

اتصال باید به گونه ای طراحی شود که پاسخگوی نیازهای نسبتاً بزرگ چرخشی مفصل پلاستیک باشد. لازم است این مفاصل به راحتی بچرخند. از سوی دیگر ورق های اتصال پس از تعداد کمی چرخش به علت تمرکز شدید کرنش های پلاستیک گسیخته می شوند. برای اطمینان از این که صفحات اتصال به راحتی بتوانند بچرخند، مدل هایی تهیه شد که در آنها انتهای عضو مهاری در فواصل  $t$ ,  $2t$ ,  $4t$  (ضخامت ورق گاست می باشد) از گوشه با زاویه کوچکتر ورق اتصال، قطع شده بود. نتایج نشان داد فاصله  $2t$  بهترین نتایج را در عملکرد ورق ها ایجاد می کند. شکل ۹۷ یک ورق اتصال با جزئیات اجرایی ضعیف را نشان می دهد که در آن فاصله  $2t$  تأمین نشده است. ورق اتصال پس از تعداد اندکی چرخش، گسیخته شده است.

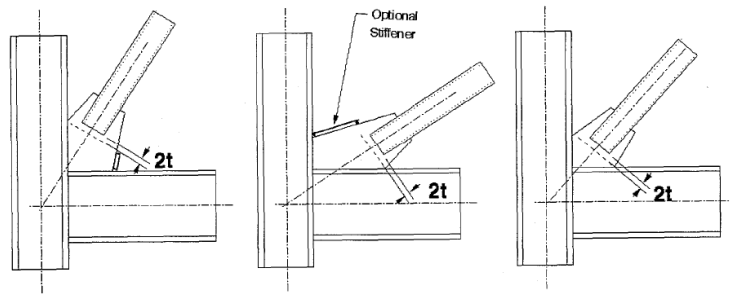


شکل ۹۷: گسیختگی ورق اتصال با اجرای جزئیات ضعیف در کماتش برون صفحه ای



شکل ۹۸: رفتار انعطاف پذیر ورق اتصال با منظور نمودن فاصله  $2t$

از سوی دیگر شکل ۹۸ یک نمونه آزمایشی با جزئیات اجرایی صحیح را نشان می دهد که در آن فاصله  $2t$  تأمین شده است. این نمونه قادر بود بیش از ۳۰ دوره متناوب غیر ارتجاعی بزرگ بار محوری را بدون گسیختگی تحمل کند. توجه شود که ناحیه تیره روی نمونه های سفیدکاری شده نشان دهنده سطوح تسلیم شده هستند. در اشکال زیر رعایت مفهوم خط آزاد خمش برای انواع زوایا نمایانده شده است.



شکل ۹۹: رعایت مفهوم خط آزاد خمش با فاصله  $2t$  در حالت کمانش خارج صفحه مهاربند.

## ۶- رویکردهای جدید در طراحی اتصالات

در سال ۲۰۰۲ آقای ردر رویکرد جدیدی در طراحی اتصالات قاب های فولادی مقاوم در برابر زلزله پیشنهاد نمود<sup>۱</sup>. ایشان در این روش به دنبال ارتقای عملکرد لرزه ای انواع قاب های لرزه ای بود. نام این روش، طراحی اتصالات به روش تعادلی می باشد. که در ادامه به صورت مفصل بررسی خواهد شد.

### ۱.۶ مفاهیم اولیه در رویکرد های جدید طراحی اتصالات

در روش طراحی متداول، ساختمان به گونه ای طراحی می گردد که در حالت ارائه سرویس پاسخگوی کلیه نیروهای القایی در بازه الاستیک باشد. در شرایط ویژه ای مانند زلزله تعدادی المان خاص برای جاری شدن طراحی می گردد، طراحی این اعضا به گونه ای است که نیاز تغییر شکل ساختمان را برآورده نمایند. در روش تعادلی گسترش جاری شدگی این اعضا به اعضای واسط، مانند اتصالات مجاز دانسته می شود. این در حالی است که مطابق الزامات آیین-نامه های رایج گسترش جاری شدگی اعضای اصلی به اتصالات مجاز نمی باشد. البته این رویکرد به این معنا نخواهد بود که در طراحی اتصالات صرفه جویی قابل توجهی صورت پذیرد. چرا که در این روش نیروی طراحی مدهای شکننده اتصالات قاب ها نسبت به روش های قبلی افزایش قابل توجهی دارد. به این معنا که :

در این روش ابتدا کلیه مکانیزم های جاری شدن و مدهای گسیختگی قاب مقاوم لرزه ای برشمرده می شود. سپس این مدها به چهار دسته زیر تقسیم بندی می گردد.

۱. مکانیزم های اصلی تسلیم قاب
۲. مکانیزم های ثانویه تسلیم قاب
۳. مدهای شکل پذیر شکست قاب
۴. مدهای شکننده شکست قاب

<sup>1</sup> Roeder, C.W., (2002) "Connection Performance for Seismic Design of Steel Moment Frames", ASCE, Journal of Structural Engineering, 128, 4, pgs 517-525

سپس طراحی به گونه ای صورت می گیرد که مکانیزم های تسلیم به توجه به ترجیح طراح یکی پس از دیگری یا به صورت هم زمان، قابلیت تشکیل در قاب را داشته باشد. و مدهای شکننده شکست در قاب هرگز روی ندهد. رابطه زیر جهت کنترل توالی مکانیزم تسلیم و کنترل مدهای گسیختگی توسط ایشان پیشنهاد گردیده است.

$$R_{yield,mean} = R_y R_{yield} \leq \beta_{y1} R_{y1} R_{yied,1} \leq \beta_{y2} R_{y2} R_{yied,2} \leq \dots \leq \beta_{yi} R_{yi} R_{yied,i}$$

در رابطه فوق  $R_{yield,mean}$  همان مکانیزم تسلیم اولیه قاب است. استفاده از این نامساوی در طراحی قاب موجب ایجاد تواتر در تسلیم مکانیزم های تسلیم خواهد شد. تنظیم تواتر تسلیم در قاب به کمک ضریب  $\beta$  صورت می گیرد. شاید برخی تصور کنند که ضریب  $\beta$  مانند ضریب  $\phi$  در طراحی به روش حدی می باشد. این ضریب اساسا با ضریب مورد استفاده در طراحی حدی متفاوت است. چرا که ضریب  $\beta$  با توجه به میزان شکل پذیری مکانیزم تسلیم مورد نظر، جایگاه مکانیزم تسلیم در تواتر تسلیم قاب و پراکندگی اطلاعات در مطالعات آزمایشگاهی تعیین می گردد. در حالی که ضریب  $\phi$  تنها با توجه به میزان کاهش مقاومت اعضا در حین طراحی تعیین می گردد. در ادامه به منظور کنترل مدهای گسیختگی ترد رابطه بالا برای این مدها تکرار می گردد.

$$R_{yield,mean} = R_y R_{yield} \leq \beta_{fail,1} R_{fail,1} \leq \beta_{fail,2} R_{fail,2} \leq \dots \leq \beta_{fail,i} R_{fail,i}$$

که در رابطه فوق به منظور اطمینان از تشکیل کلیه مکانیزم های تسلیم پیش از گسیختگی می توان به جای استفاده از  $R_y R_{yield}$  از  $\beta_{yi} R_{yi} R_{yied,i}$  استفاده نمود.

## ۲.۶ بررسی اجزای اتصالات قاب مهاربندی با رویکرد جدید

قاب های مهاربندی شده از چهار جز اصلی تشکیل می شود، که هر یک از آنها دارای مکانیزم های گسیختگی شکل پذیر و غیر شکل پذیر می باشد و در طراحی آنها باید مورد نظر واقع شوند تشکیل می گردد

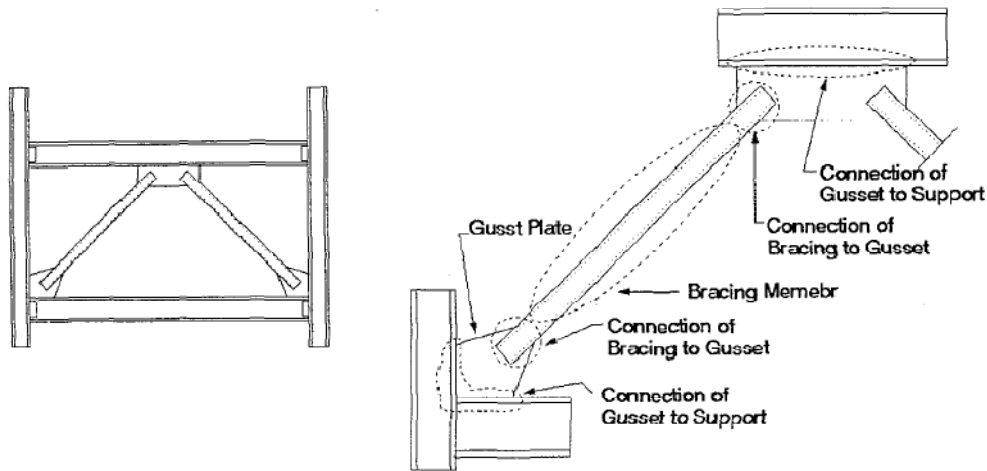
۱. المان مهاربند

۲. اتصال مهاربند به ورق اتصال

۳. ورق اتصال

۴. اتصال ورق به تیر و ستون

در شکل زیر اجزا مورد نظر نشان داده شده است.



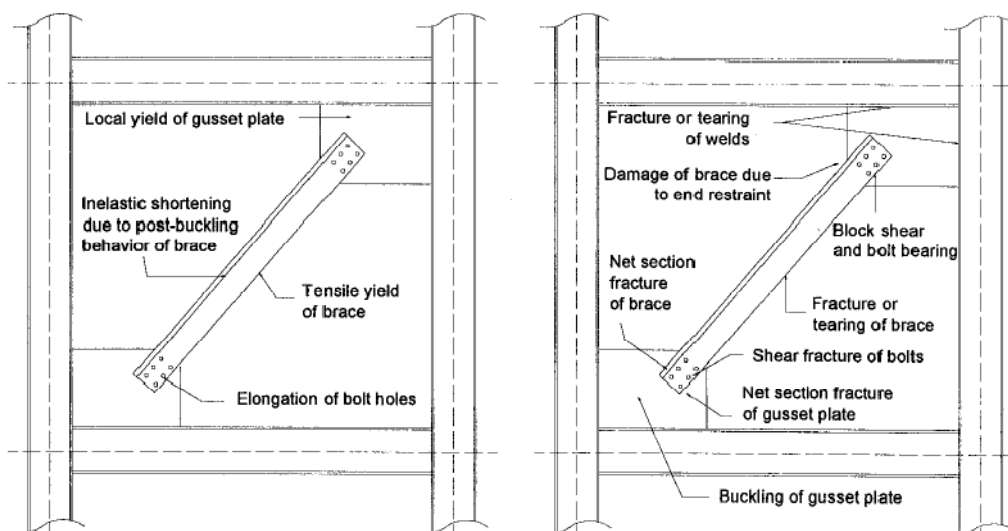
شکل ۱۰۰: اجزای اصلی تشکیل دهنده قاب مهاربندی

هر یک از چهار قسمت فوق دارای مدهای گسیختگی ترد و شکل پذیر می‌باشند. طراحی باید به نحوی صورت پذیرد که مکانیزم تسلیم در هر یک از چهار قسمت فوق بر مدهای شکست ترد قاب غالب باشد. همچنین با استفاده از روابط فوق تواتر تسلیم را در قاب باید ایجاد نماییم تا به حد اکثر شکل پذیری دست یابیم. در شکل زیر این تواتر در مقیاس اجزای کلی قاب نشان داده شده است.



شکل ۱۰۱: زنجیره مکانیزم های تسلیم در قاب مهاربندی شده

در شکل زیر مکانیزم های ترد و شکل پذیر در اجزای فوق نشان داده شده است.



a) Yield Mechanisms

b) Failure Modes

شکل ۱۰۲: مکانیسم های شکل پذیر و ترد یک قاب مهاربندی

در جدول زیر جایگاه هر یک از این مدهای گسیختگی و ضریب  $\beta$  آن پیشنهاد گردیده است.<sup>۱</sup>

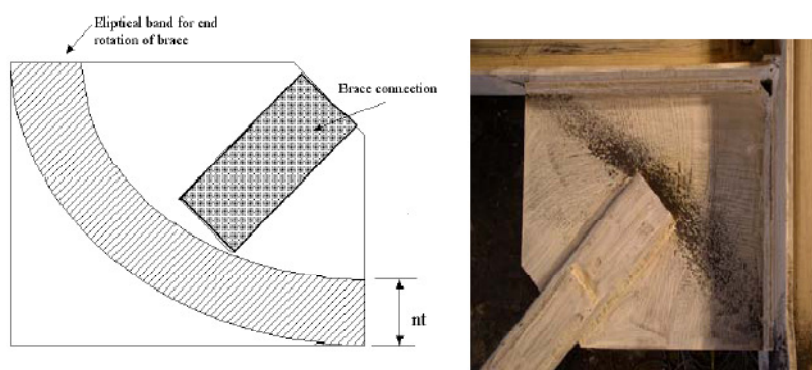
جدول ۱۳: ضرایب پیشنهادی آقای ردر برای ضریب  $\beta$

Mode or Mechanism		$\beta$ Value	Notes on the Application
Primary Yield Mechanisms	Tensile Yield of Brace	Not Required	$P_y = A F_y$ controls for tensile failure modes.
	Brace Buckling	Not Required	$P_{cr} = A F_{cr}$ controls for compressive modes. Expressions that include effect of connection properties on K-factor are needed
Secondary Yield Mechanisms	Yield of Gusset Plate	Approx. 0.9	
	Yield of Framing Elements	Approx. 0.85	Requires accurate estimate of brace end moment and connection stiffness. Requires additional work.
	Gusset Plate Buckling	Approx. 0.85	$\beta$ times Modified Thornton Capacity $> P_{cr}$ . Modified Thornton model provides reasonably accurate estimate.
More Ductile Failure Modes	Net Section of Brace	Approx. 0.8	Fracture conservatively estimated and expected with very slender braces.
	Excessive Deformation of Brace	Approx. 0.8	Controlled by AISC SCBF slenderness limits.
	Block Shear and Bolt Bearing	Approx. 0.8	Resistance estimates are conservative and failure mode is relatively ductile.
More Brittle Failure Modes	Fracture or Tearing of Brace	Less than 0.8	Existing SCBF design limits theoretically control.
	Gusset Weld Fracture	Less than 0.75	Weld fracture occurs at low stress levels with poor welds. Quality of weld and weld process must be controlled.
	Net Section Fracture of Gusset Plate	Uncertain but probably less than 0.7	Poor resistance estimate after brace buckling for slender braces. Significantly smaller for slender braces. May require different models for rectangular and tapered gusset plates. Work required here.
	Bolt Shear	Less than 0.8	Bolt resistance conservatively estimated but consequences severe. Existing models may be appropriate.

<sup>1</sup> Roeder, C., Lehman, D., and Yoo, J. H. (2005). "Improved design of steel frame connections." Int. J. Steel Struct., 5\_2\_, 141-153.

بر اساس این نظریه مطالعات جامعی در دانشگاه واشنگتن توسط آقای ردر و خانم لمان (C.Roeder & E.Lehman) آغاز گردید. هدف اصلی این مطالعات ارتقای عملکرد قاب های مهاربندی بود. در مطالعاتی که در سال ۲۰۰۵ توسط ایشان صورت گرفت مشاهده گردید که اندرکنش قاب مهاربند و ورق اتصال تاثیر چشمگیری در نحوه رفتار آنها خواهد گذاشت که کمتر توسط محققین پیشین مورد توجه واقع شده است. بر همین اساس کلیه مطالعات عددی و آزمایشگاهی ایشان با در نظر گرفتن اثر همزمان قاب، مهاربند و ورق اتصال آغاز شد. به اعتقاد ایشان با وجود سخت گیری های قابل توجهی که آیین نامه AISC05 در طراحی ورق اتصال قاب های مهاربندی نموده است، به دلیل روش مورد استفاده در طراحی، این قاب ها همچنان با معضل کسپختگی کلی ورق اتصال در هنگام زلزله روبرو می گردند. ایشان بر این اعتقاد بودند که روش بار یکنواخت که در آیین نامه AISC به منظور طراحی ورق اتصال استفاده می گردد، بر اساس رفتار قاب های مهاربندی در حیطه الاستیک و در برابر نیروهای باد به دست آمده است، لذا در هنگام رفتار غیر ارتجاعی قاب مهاربندی و ورق اتصال آنها نتایج مناسبی به دست نمی دهد.

همچنین در مطالعات ایشان نتایج قابل توجهی در خصوص خط آزاد خمش مستقیم، عمود بر محور مهاربند به دست آمد. ایشان به جای استفاده از خط آزاد خمش مستقیم عمود بر محور مهاربند، از یک الگوی بیضی شکل جهت تامین محور خمش ورق اتصال در هنگام کمانش برون صفحه مهاربند استفاده نمودند. و نشان دادند که این الگوی خمش ورق اتصال، شکل پذیری بهتری نسبت به الگوی خمشی خط مستقیم به همراه خواهد داشت. در Error! Reference source not found. نمونه ای از گاست های مورد بررسی در آزمایشات ردر و لمان نشان داده شده است.



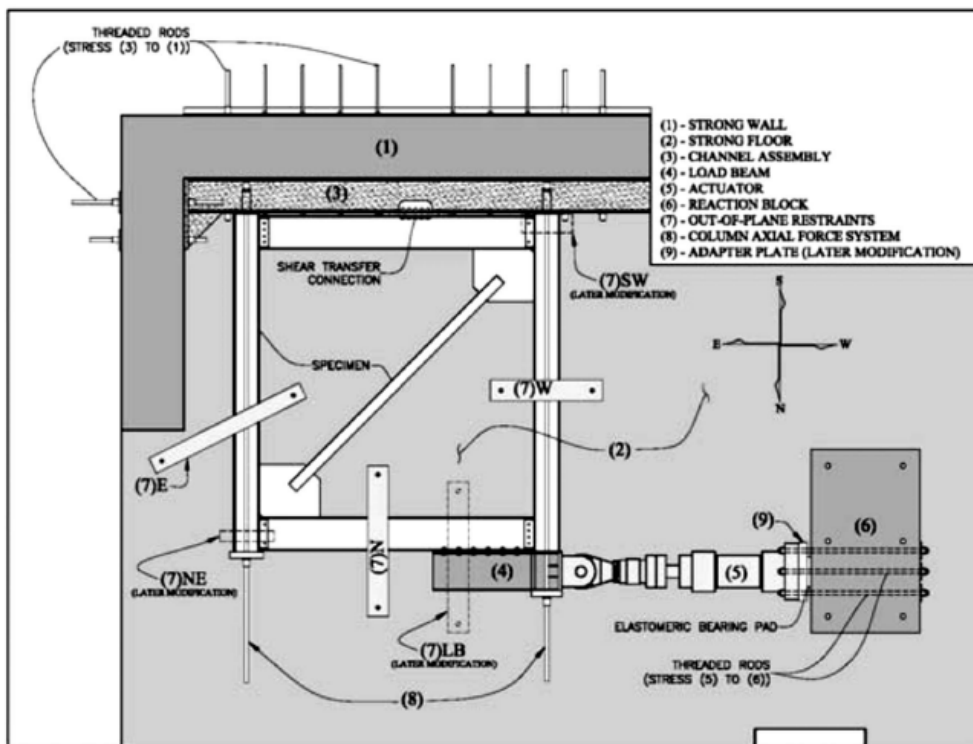
شکل ۱۰۳: نمونه ای از ورق اتصال مهاربند با رعایت محور خمش بیضی شکل

پارامترهایی که توسط آقای ردر و همکارانش مورد مطالعه دقیق قرار گرفت به شرح زیر است.

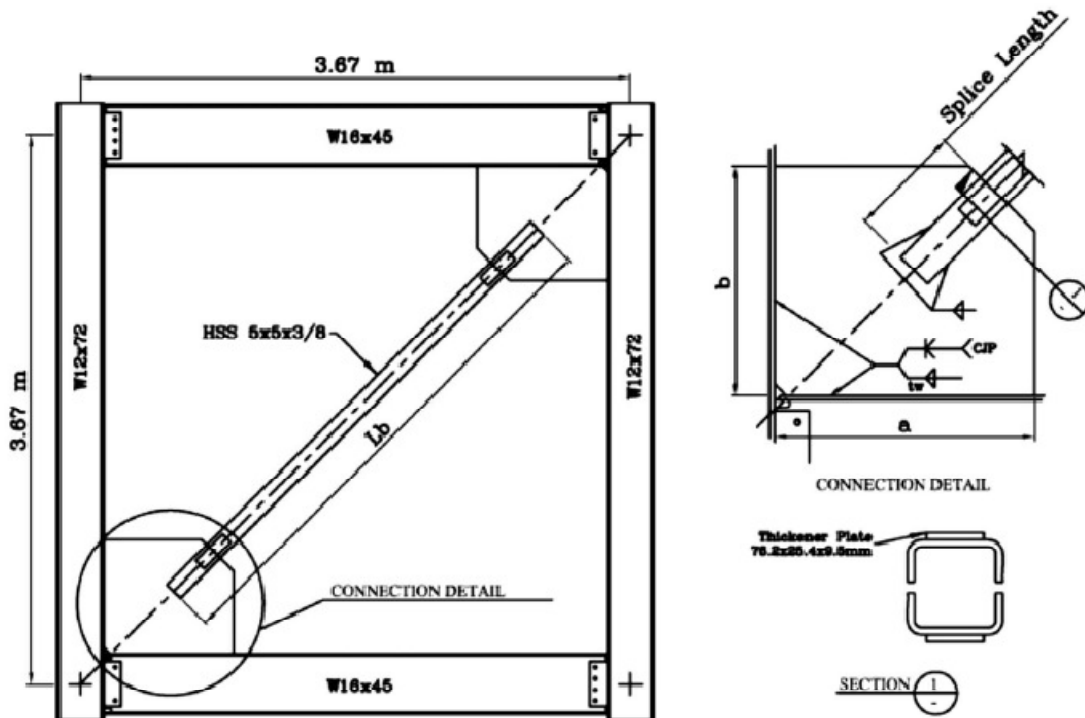


۱. نحوه ایجاد محور آزاد خمش ورق اتصال مهاربند (بیضی شکل ، خط مستقیم عمود بر محور مهاربند)
۲. ضخامت ورق مهاربند
۳. نوع و سایز جوش
۴. اثر بریدگی لبه های ورق مهاربند (مخروطی نمودن ورق ها)
۵. اثر سختی تیر و ستون

به این منظور ایشان ورق های اتصال یک قاب مهاربندی را به روش های مختلف طراحی نموده با تغییر پارامتر های فوق به مطالعه تاثیر آنها بر عملکرد قاب پرداختند. در مطالعات ایشان ۱۸ گونه از ورق های اتصال در یک قاب مورد استفاده و آزمایش قرار گرفت. نمونه ای از دستگاه مورد استفاده در آزمایشات ایشان و قاب مورد مطالعه در شکل ۱۰۴ نشان داده شده است.



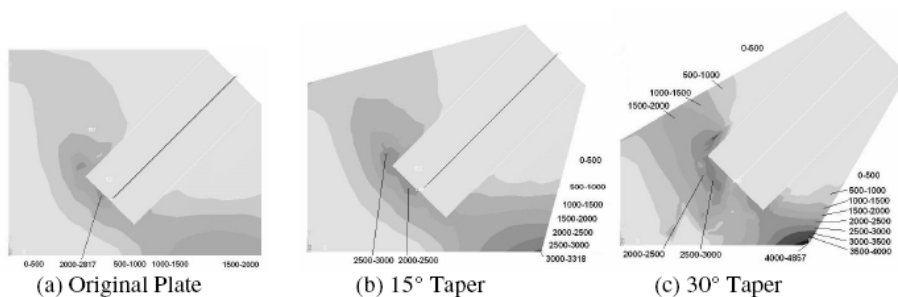
شکل ۱۰۴ : تصویر کلی سیستم مورد استفاده در مطالعات آزمایشگاهی ردر و لمان



شکل ۱۰۵: قاب مورد مطالعه در مطالعات آزمایشگاهی ردر و لمان

مختصری از نتایج مطالعات ایشان به این شرح است.

- عملکرد نمونه هایی که در آنها به جای استفاده از خط آزاد خمش مستقیم با فاصله آزاد  $2tp$  از خط آزاد خمش بیضوی با فاصله  $6-8tp$  استفاده گردیده است به مراتب بهتر می باشد. این ارتقای عملکرد به ناشی از کاهش ابعاد ورق اتصال و امتداد اجزای اتصال در ورق اتصال می باشد که هر دو مورد افزایش فشردگی این ورق را به همراه خواهد داشت.
- آغاز پارگی در ناحیه جوش ورق اتصال مهاربند به تیر و ستون در ورق های مخروطی متداول (ورق اتصال با محور آزاد خمش مستقیم با فاصله  $2tp$ )، در جابجایی نسبی کمتری در مقایسه با ورق های اتصال مستطیلی شکل پیشنهادی (محور آزاد خمش بیضی با فاصله آزاد  $8tp$ ) می باشد. علت این مسئله تمرکز شدید نیروهای حاصل از کشش در کنج بیرونی اتصال ورق به تیر و ستون، در ورق های مخروطی شکل متداول است. در واقع در ورق های مستطیلی شکل پیشنهادی تنش ها از پراکندگی بیشتری نسبت به ورق های مخروطی برخوردارند.

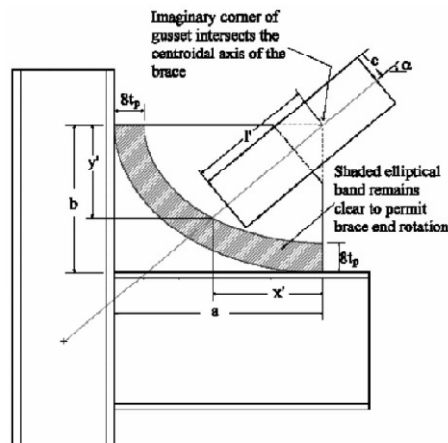


شکل ۱۰۶: پراکندگی کرنش معادل پلاستیک در انواع ورقهای اتصال

- آغاز پارگی در مهاربندها با اتصالات متداول در جابجایی کمتری نسبت به اتصالات پیشنهادی می باشد. علت این پدیده را باید در سختی زیاد ورقهای اتصال مخروطی و تفاوت در ماهیت اتصالات متداول و مخروطی جست وجو نمود. ورق های اتصال مخروطی به دلیل ابعاد زیاد آنها از ضخامت بالایی برخوردار است در حالی که ورق های اتصال پیشنهادی توسط آقای ردر و همکارانش به دلیل امتداد بیشتر مهاربند در ورق اتصال از فشردگی بیشتر و ضخامت کمتر برخوردارند و این مسئله خود در افزایش شکل پذیری قاب تاثیر گذار است.
- با افزایش ضخامت ورق اتصال توزیع تنش در ورق اتصال از پراکندگی بیشتری برخوردار می گردد و از تمرکز تنش در نواحی جوش کاسته می شود اما به دلیل افزایش سختی اتصال، تمرکز تنش و پرش کرنش در نواحی میانی مهاربند افزایش می یابد و مهاربند در جابجایی کمتری نسبت به مدل های مشابه با ضخامت ورق کمتر دچار پارگی می شود.

خلاصه روش طراحی مورد توصیه توسط آقای ردر و همکارانش به این شرح است.

۱. طول جوش مورد نیاز جهت اتصال مهاربند به ورق اتصال با در نظر گرفتن کلیه ضوابط مربوطه مانند تامین ظرفیت کششی مهاربند، برش قالبی در مهاربند و ورق اتصال، کنترل کشش ورق در عرض ویتور و ... تعیین می گردد.
۲. ابعاد ورق با توجه به طول جوش مهاربند بر روی گاست به نحوی تعیین می گردد که انتهای مهاربند از محور خمش ورق به اندازه  $8t_p$  فاصله داشته باشد. مطابق شکل زیر.



شکل ۱۰۷: مدل پیشنهادی خط آزاد خمشی بیضوی و هندسه ورق مهاربند

در این قسمت ابعاد ورق اتصال با یک روش سعی و خطا باید به دست بیاید چرا که با افزایش ابعاد ورق در هر مرحله با کاهش فاصله  $8t_p$  روبرو می گردیم. لذا این محققین روابط تقریبی جهت تخمین ابعاد ورق پیشنهاد نموده اند که از دقت مناسبی برخوردار است.

$$a' = a - 8t_p; \quad b' = b - 8t_p; \quad \rho = a'/b'$$

$$y' = b' \sin(\arctan(\rho \tan(\alpha))) ; \quad x' = a' \sqrt{1 - \left(\frac{y'}{b'}\right)^2}$$

$$\beta = \arctan\left(-2/\rho \sqrt{\frac{a'^2}{x'^2}}\right); \quad Corr = c \sin(\beta) \cos(\alpha)$$

$$l' = \sqrt{x'^2 + y'^2} + Corr$$

$\alpha$  : زاویه انحراف مهاربند از خط افق

$c$  : فاصله محور مهاربند از کناره آن. نصف عرض مهاربند

: فاصله گوشه فرضی ورق اتصال از انتهای مهاربند.

۳. اتصال ورق مهاربند به تیر و ستون بر اساس ظرفیت نهایی ورق مهاربند طراحی می گردد.

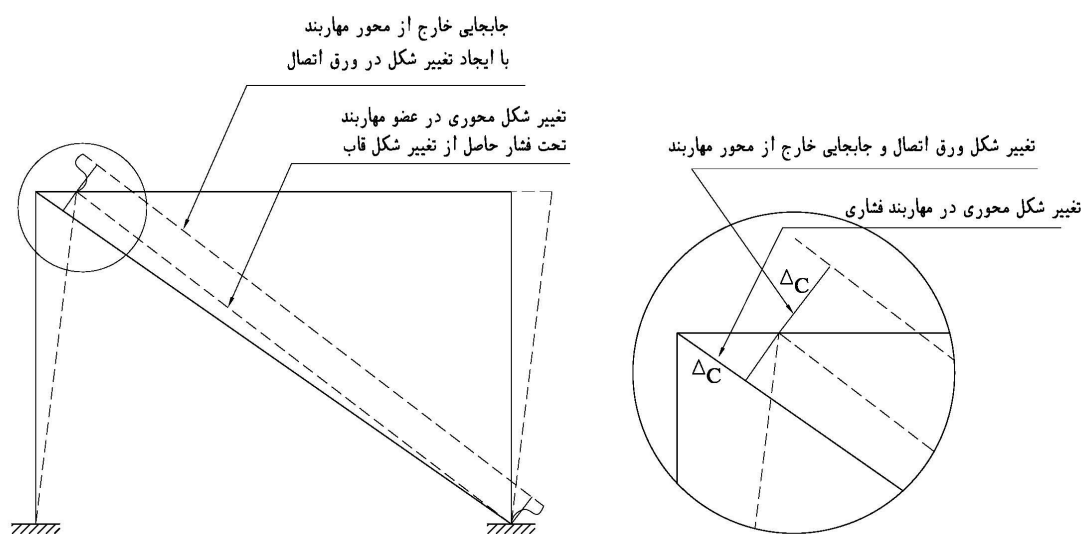
## ۳.۶ نگارنده

به اعتقاد نگارنده آنچه که بیش از فشردگی ورق اتصال در بهبود عملکرد این نوع از قاب ها تاثیر گذار است تغییرات کلی در مکانیزم جابجایی مهاربند و اتصالات آن خواهد بود. به این معنا که ورق های اتصال متداول تا حد زیادی تداعی کننده اتصال دو سر مفصل در قاب های مهاربندی می باشد. در حالی که ورق های اتصال پیشنهادی دارای قابلیت حرکت خارج صفحه در هنگام کماتش مهاربند می باشد. این قابلیت به کاهش تمرکز کرنش ها در مهاربند و افزایش شکل پذیری قاب منتهی می گردد. در شکل ۱۰۸ مدل ایدال هر یک از اتصالات نشان داده شده است.

با این توضیح بهترین عملکرد در این ورق ها هنگامی به دست خواهد آمد که کماتش در ورق اتصال و مهاربند هم زمان روی دهد و یا حتی نیروی کماتش ورق اتصال اندکی کمتر از نیروی کماتشی مهاربند باشد. در این حالت ورق اتصال به صورت یک فیوز کنترلی برای قاب مهاربندی عمل خواهد نمود و جلوی تمرکز تنش های شدید در هنگام کماتش مهاربند در میانه آن را خواهد گرفت. علاوه بر آن ورق اتصال در این روش طراحی در حالت کماتش خارج صفحه مهاربند، مقاومت خمشی خود را از دست نخواهد داد و چرخه های بارگذاری از افت کمتری برخوردار خواهد شد. لذا در این روش طراحی دست بالا طراحی نمودن ظرفیت فشاری ورق اتصال امری پسندیده و مطلوب نخواهد بود، بلکه ظرفیت ورق باید به صورت دقیقی محاسبه گردد تا بتواند عملکرد فیوز گونه را برای ما داشته باشد.



همانگونه که در روابط فوق مشاهده می‌گردد، مطابق نشریه مقاوم سازی ماکزیمم جابجایی نیاز مهاربند  $3.57 \text{ cm}$  سانتیمتر می‌باشد این جابجایی خارج از محور به راحتی در یک ورق مهاربند که به روش پیشنهادی آقای ردر طراحی گردیده است قابل وصول است، علاوه بر آنکه در صورت استفاده از چنین ظرفیتی به اعداد بسیار بزرگتری برای ضریب  $\Delta_c$  برای سطح عملکرد ایمنی جانی و یا هر سطح عملکرد دیگری دست خواهیم یافت. در شکل زیر جزئیات جابجایی خارج از محور مهاربند در روش پیشنهادی و جابجایی محوری مهاربند در روش رایج نشان داده شده است.



شکل ۱۰۹: جزئیات جابجایی خارج از محور مهاربند در روش پیشنهادی و جابجایی محوری مهاربند در روش رایج

شاید این گونه تصور گردد که چنین عملکردی براحتی برای مهاربندهای طراحی شده به روش متداول با خط آزاد خمش مستقیم، نیز متصور است. پاسخ نگارنده مثبت است. اما باید توجه داشت. که، در روش متداول مقطع تحت خمش یک خط مستقیم می‌باشد، لذا علاوه بر آنکه ظرفیت خمشی زیادی برای این مقطع نمی‌توان متصور بود، مقطع تحت خمش دارای چرخه چندان پایداری نیز نمی‌باشد. در واقع مقطع مورد بارگذاری با اندکی خروج از محوریت بارگذاری ظرفیت خود را از دست خواهد داد. در حالی که برای روش طراحی جدید این گونه نمی‌باشد. مقطع تحت خمش یک بیضی گون است. لذا دارای ظرفیت خمشی قابل توجهی در آغاز بارگذاری است. همچنین با افزایش مقدار بار وارده به مقطع و ورود مقطع به بازه غیر الاستیک نواحی بیشتری از صفحه در باربری مشارکت خواهد کرد. لذا ظرفیت خمشی مقطع در چرخه های بارگذاری سیری فزاینده خواهد داشت.

## ۷- تبیین روش طراحی مورد استفاده در دفترچه طراحی اتصالات

طراحی اتصالات موجود در این دفترچه به روش حالت حدی و منطبق بر ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و ضوابط لرزه ای آیین نامه AISC05 صورت گرفته است. فولاد مورد نظر در طراحی و کنترل های صورت گرفته در حین طراحی فولاد ST37 می باشد.

### • علامت گذاری

سطح مقطع خالص موثر مهاربند یا ورق اتصال	:
سطح مقطع کل مهاربند یا ورق اتصال	:
سطح مقطع کل در برش	:
سطح مقطع خالص در برش	:
سطح مقطع ورق مهاربند در عرض ویتمور	:
تنش فشاری ناشی از کمانش مقطع	:
تنش کمانش بحرانی اولر در حالت الاستیک	:
تنش تسلیم فولاد (۲۴۰۰ کگ / س م)	:
تنش نهایی کششی فولاد (۳۷۰۰ کگ / س م)	:
ارتفاع جان مقطع مهاربند	:
طول جوش مهاربند به ورق اتصال	:
تلاش کششی جاری شدن مقطع مهاربند	:
مقاومت کششی اسمی	:
نسبت تنش تسلیم به تنش تسلیم مورد انتظار (۱/۱۵)	:
نسبت تنش نهایی به تنش نهایی مورد انتظار (۱)	:
ضخامت ورق مهاربند	:
ضخامت بال مهاربند که به ورق اتصال جوش می گردد	:
ضریب تاخیر برشی مقطع	:
ضریب کاهش مقاومت طراحی اتصالات	:

در ادامه کلیه کنترل هایی که در تنظیم این دفترچه لحاظ گردیده است با روابط مربوط به آنها ارائه می گردد.



## ۱.۷ کنترل تاخیر برشی در محل اتصال مهاربند به ورق اتصال

$$P_u = R_y F_y A_g$$

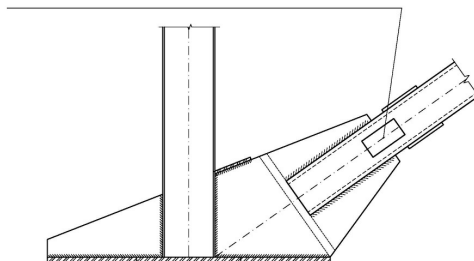
$$\phi P_n = 0.75 \times R_t F_u A_e$$

$$A_e = U A_g ; U = 0.85$$

$$\phi P_n > P_u \Rightarrow \frac{A_e}{A_g} > 1.03$$

کنترل تاخیر برشی در مهاربندهایی که در محل اتصال با کاهش مقطع روبرو هستند و همچنین در اتصالاتی که از ضریب تاخیر برشی کوچکی برخوردارند دارای اهمیت خواهد بود. در صورت نیاز می توان با افزودن یک صفحه به مهاربند در محل اتصال آن با پدیده تاخیر برشی مقابله نمود. البته در دفترچه حاضر از آنجا که نسبت  $\frac{A_e}{A_g}$  تقریباً برابر یک می باشد و ضخامت جان مقاطع متداول در ایران کم است، به دلیل ملاحظات کارگاهی از به کار بردن آن صرف نظر گردیده است.

ورق اضافه شده به مهاربند به منظور  
کنترل تاخیر برشی در محل اتصال مهاربند



شکل ۱۱۰: نمایی از ورق اضافه شده در محل اتصال مهاربند به ورق اتصال به منظور کنترل تاخیر برشی

## ۲.۷ کنترل برش قالبی در مهاربند

$$P_u = R_y F_y A_g$$

$$\phi P_n = 0.75 \times 0.6 \times \left( \min \left\{ R_y F_y A_{gV} \right\} \right)$$

$$A_{gV} = A_{nV} = 4L_w t_{f.br.}$$

$$\phi P_n > P_u \Rightarrow L_w > \frac{0.55 A_g}{t}$$

### ۳.۷ کنترل برش قالبی در ورق اتصال

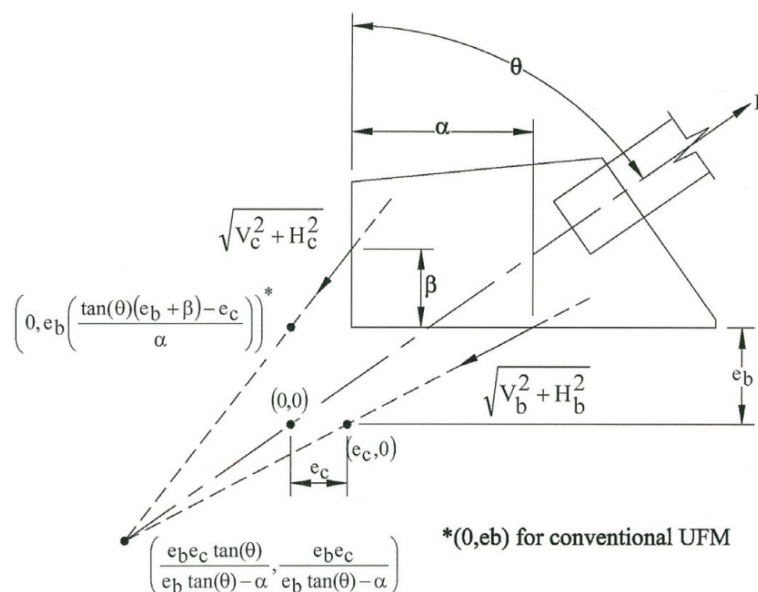
$$P_u = R_y F_y A_g$$

$$\phi P_n = 0.75 \times (0.6 \times (R_y F_y A_{eV})_{Gusset} + (R_y F_y A_e)_{Gusset})$$

$$R_y = 1, A_{eV} = 2 \times L_w t_G, A_e = h_{br} t_G$$

### ۴.۷ تعیین ابعاد ورق اتصال

روش های بسیار متنوعی به منظور تعیین ابعاد ورق اتصال وجود دارد. جزئیات این روش ها به صورت مفصل در پیوست ج دفترچه توضیح داده شده است. از آنجا که روش تورنتون متداول ترین روش در طراحی ابعاد ورق اتصال می باشد که مورد تایید آیین نامه AISC2005 است در این دفترچه از این روش به منظور تعیین ابعاد ورق اتصال استفاده گردیده است.



شکل ۱۱۱: دیاگرام آزاد تجزیه نیروها در روش تورنتون (UFM)

$$\alpha - \beta \tan \theta = e_B \tan \theta - e_C$$

$$H_B = \frac{\alpha}{r} P \quad V_B = \frac{e_B}{r} P$$

$$V_C = \frac{\beta}{r} P \quad H_C = \frac{e_C}{r} P$$

$$r = \sqrt{(\alpha + e_C)^2 + (\beta + e_B)^2}$$

## ۵.۷ کنترل مقطع موثر گاست در کشش (عرض ویتمور)

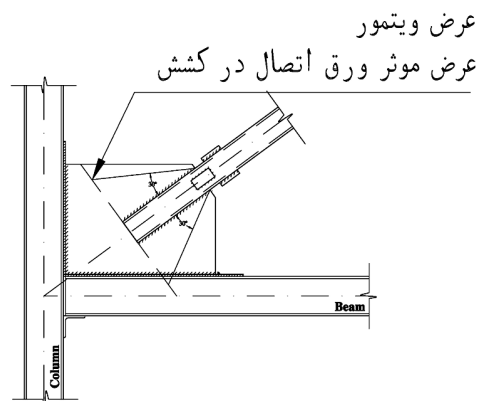
$$P_u = R_y F_y A_g$$

$$\phi P_n = 0.9 \times R_y F_y A_w$$

$$A_w = (h_{br} + 2 \times L_w \tan(30^\circ))$$

در حالتی که از ورق گاست مخروطی در طراحی استفاده شده باشد، کل سطح مقطع گاست عمود بر محور مهاربند در کنترل کششی مقطع خالص ورق اتصال استفاده می‌گردد.

این عرض ممکن است به طور کامل در صفحه گاست قرار نگیرد. در این صورت اگر بادبند در راستای جان تیر و ستون اجرا گردیده باشد و بخشی از عرض ویتمور در داخل جان تیر یا ستون واقع گردد. این بخش را با ضخامت مربوط به جان تیر و ستون می‌توان در محاسبات منظور نمود. در غیر این صورت باید عرض مقطع خالص واقع شده در ورق اتصال، در محاسبات منظور گردد. در شکل زیر نمونه ای از عرض ویتمور نشان داده شده است.



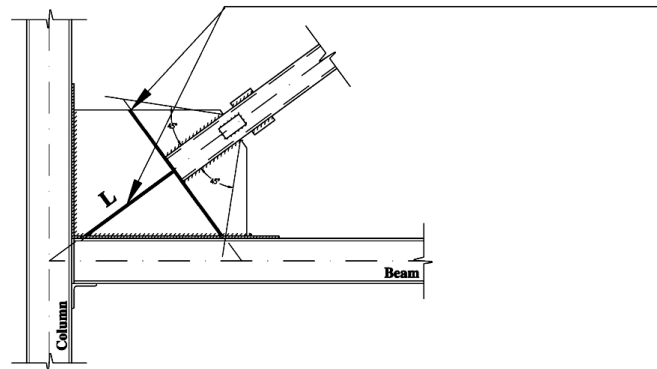
شکل ۱۱۲: عرض موثر ورق اتصال در کشش (عرض ویتمور)

## ۶.۷ کنترل مقطع موثر ورق اتصال در فشار

به منظور کنترل ورق اتصال در فشار حاصل از نیروهای کماتش مهاربند، از روش تورتون اصلاح شده استفاده گردیده است. این روش توسط آقای ردر و همکارانش پیشنهاد شده است، در این روش از یک نوار با عرض واحد و طول مشخصه ای برابر با بزرگترین طول  $L_1$  ,  $L_2$  ,  $L_3$  و ضریب طول موثر  $K=0.65$

استفاده می گردد. مقاومت کمانش ارتجاعی این نوار فرضی، محاسبه شده و در عرض موثر ورق اتصال که ضرب می شود.

### طول و عرض موثر ورق اتصال در فشار



شکل ۱۱۳: طول و عرض موثر ورق اتصال در فشار

$$P_u = F_{cr.br} A_g$$

$$\phi P_n = 0.9 \times F_{cr.G} A_g$$

$$F_{cr} = \begin{cases} (a) \text{ when } F_e \geq 0.44F_y \rightarrow F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \\ (b) \text{ when } F_e < 0.44F_y \rightarrow F_{cr} = 0.877F_e \end{cases}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{KL}{r} \right)^2}; r = 0.3 \times t_G$$

## ۷.۷ کنترل کمانش لبه آزاد ورق اتصال

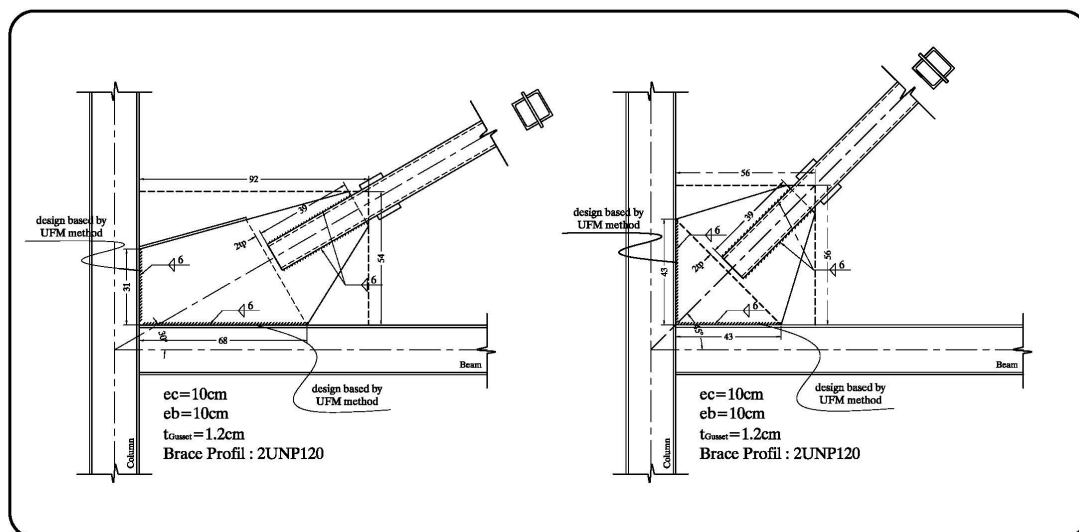
کمانش لبه آزاد ورق اتصال در جزئیات پیشنهاد شده در این دفترچه کنترل نگردیده است. و به اعتقاد تهیه کنندگان آن با توجه به طول قابل ملاحظه اتصال مهاربند بر روی ورق اتصال، نیازی به کنترل لبه آزاد ورق اتصال در این جزئیات نمی باشد.

## ۸.۷ تامین خط آزاد خمش ورق اتصال

در دفترچه حاضر خط آزاد خمش اتصال به دو روش خط مستقیم عمود بر محور مهاربند و خط بیضی شکل تامین گردیده است و جزئیات مربوط به هر یک به صورت مجزا ارائه شده است.

تامین خط آزاد خمش ورق اتصال به روش خط مستقیم به این ترتیب خواهد بود. بعد از تعیین ابعاد ورق اتصال به روش تورنتون و تعیین طول جوش مورد نیاز اتصال مهاربند به ورق، شکل ورق به نحوی تنظیم می گردد که مهاربند خط فرضی خمش ورق اتصال را که خط مستقیم عمود بر محور مهاربند می باشد قطع نکند. سپس کلیه کنترل های مربوط به کنترل کششی و فشاری ورق اتصال و کنترل برش قالبی در ورق اتصال صورت می گیرد و با توجه به ضخامت ورق تعیین می گردد.

در شکل زیر نمونه ای از ورق های اتصال مهاربند که ابعاد آن به روش UFM به دست آمده است و ضابطه خط آزاد خمش عمود بر محور مهاربند در آنها رعایت شده، نشان داده شده است. در تعیین ابعاد این ورق ها کلیه ضوابط بیان شده در این فصل ملحوظ گردیده است.



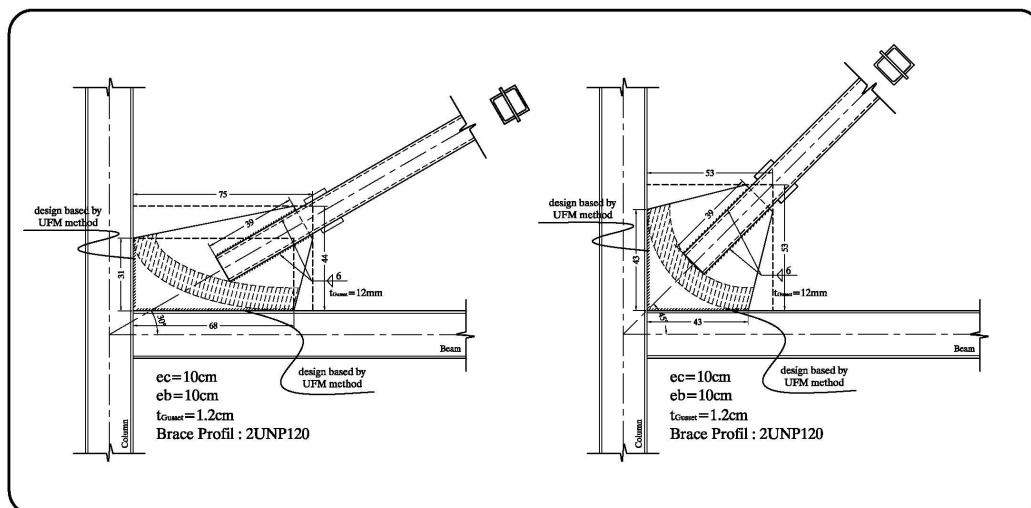
شکل ۱۱۴: نمونه ای از طراحی ورق مهاربند به روش UFM و رعایت ضابطه خط آزاد خمش مستقیم

تامین خط آزاد خمش ورق اتصال به روش بیضی شکل به همان ترتیبی است که در قسمت قبل بیان گردید. بعد از تعیین ابعاد ورق اتصال به روش تورنتون و تعیین طول جوش مورد نیاز اتصال مهاربند به ورق، شکل ورق به نحوی تنظیم می گردد که مهاربند خط فرضی خمش ورق اتصال را که خطی بیضی شکل می باشد قطع نکند. در این حالت حداقل طول جوش عمودی و افقی برای ورق اتصال به دست

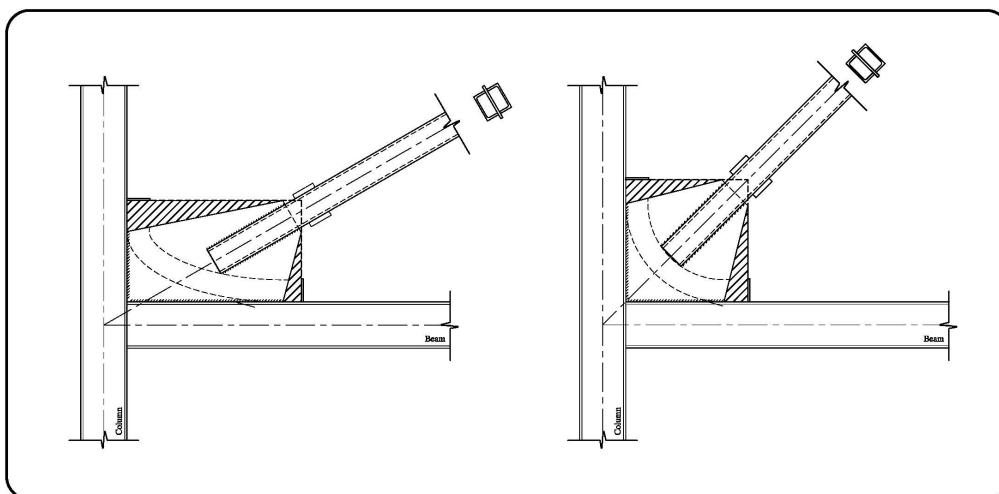
می آید. که در شکل ۱۱۵ نشان داده شده است. اما به منظور دست یابی به سهولت اجرا در کارگاه ورق گاست به صورت مستطیلی ارائه گردیده است.

هرچند که این تغییر اندازه فاصله آزاد خمش را از  $8t_p$  به  $6t_p$  کاهش می دهد اما به دلیل اضافه طول جوشی که در طراحی ورق ها افزوده می گردد، آنچنان نگران کننده نخواهد بود.

همچنین با مشاهداتی که از آزمایشات مختلف داشته ایم این گونه به دست آمد که پارگی کلی ورق اتصال از ناحیه جوش، در کلیه این آزمایش ها از کنج بیرونی ضلع کوچکتر اتصال ورق به تیر و یا ستون بوده است. لذا در این قسمت نیز یک عدد سخت کننده اضافه گردید.



شکل ۱۱۵: نمونه ای از طراحی ورق مهاربند به روش UFM و رعایت ضابطه خط آزاد خمش بیضی شکل



شکل ۱۱۶: نواحی اضافه شده به ورق ها که مانع از خمش آزاد ورق اتصال خواهد شد.

ممکن است برخی از طراحان به عدم رعایت دقیق خط آزاد خمش در این اتصال معترض گردند بالاخص که در مبحث دهم از مقررات ملی ساختمان در قسمت قاب های مهاربند ویژه تاکید بر رعایت خط مستقیم خمش وجود دارد. ذکر دو نکته در اینجا حائز اهمیت است.

نکته اول آنکه خط آزاد خمش بیضی شکل همانطور که در شکل فوق نشان داده شده است به طور کامل رعایت شده است و البته در ادامه اقداماتی اضافی در این خصوص صورت گرفته است. افزایش طول جوش علاوه بر ابعاد به دست آمده از رابطه تورنتون و یا اضافه نمودن سخت کننده هر چند که رعایت مفهوم خط آزاد خمش را با چالش روبرو می سازد اما قطع به یقین می توان گفت که در جهت افزایش ظرفیت کششی و فشاری ورق اتصال است. رعایت مفاهیمی مانند خط آزاد خمش مستقیم یا بیضی شکل به منظور جلوگیری از تاثیر اندرکنش خمش ورق اتصال و نواحی جوش شده ورق به تیر و ستون می باشد. افزودن سخت کننده به ورق اتصال به این منظور کمک خواهد کرد.

نکته دوم آنکه هر دو نوع جزئیات ورق اتصال در دفترچه موجود می باشد. و تهیه کنندگان آن ذکر می از میزان شکل پذیری قاب های طراحی شده با هر یک از این روش ها نداشته اند. لذا طراحان بنا بر مقتضیات طراحی سازه خود می توانند از جزئیات موجود در دفترچه استفاده نمایند، هر چند که نویسندگان این دفترچه معتقدند که اتصالات اخیر با خط آزاد خمش بیضی شکل کارایی به مراتب بهتری نسبت به نوع قبلی آن دارد.