



بررسی رفتار ورق‌های اتصال و مهاربندی فولادی همگرا تحت اثر بارهای یکنوا و چرخه‌ای

دکتر علی اکبر آقا کوچک^۱، مهندس آرش قلمی فرد^۲

دانشگاه تربیت مدرس

arash_792002@yahoo.com

خلاصه

به منظور بررسی رفتار ورق‌های اتصال با استفاده از نرم افزار ANSYS تعدادی مدل ساخته و صحت سنجی شد. با لحاظ نمودن اثر سختی اعضای قاب، رفتار غیر خطی مواد و اشکالات اولیه قطعات، مطالعه پارامتریکی برای بررسی اندرکنش ورق اتصال و مهاربند تحت بارهای چرخه‌ای و تأثیر ضخامت ورق اتصال، سختی مهاربند و اعضای قاب بر رفتار آنها انجام گرفت. بررسی آندسته از ترکیبات ورق اتصال - مهاربند که ورق اتصال دارای ظرفیت فشاری کمتری نسبت به مهاربند بود نشان داد این ترکیبات تحت بارهای چرخه‌ای دارای رفتار پایدارتر و استهلاک انرژی بهتری نسبت به موارد دیگر هستند.

کلمات کلیدی: فولاد، اتصالات، ورق اتصال، بار چرخه‌ای، مهاربند همگرا

مقدمه

به دلیل پیچیدگی رفتار اتصالات با ورق در قابهای با مهاربندی همگرا، طراحی این گروه از اجزای سازه‌ای معمولاً با ساده‌سازی‌های بسیاری انجام می‌گیرد، که می‌توان از آن جمله به روش ویتمور (برگرفته از مرجع [4]) اشاره کرد. اگرچه اعتبار این روشها به منظور طراحی پذیرفته شده‌است، لکن مشاهدات حاکی از آنست که فاکتور اطمینان استفاده از آنها بسیار متغیر است. (کولاک و همکاران، برگرفته از مرجع [8])

تا چند سال اخیر بیشتر تحقیقات مربوط به اتصالات با ورق بر روی چگونگی توزیع تنش‌های ارتجاعی و یا رفتار غیرارتجاعی ورق‌های اتصال تحت بارهای کششی یکنوا متمرکز بود. در نتیجه توجه کمی به رفتار آنها تحت بارهای فشاری و چرخه‌ای شده است. به طور کلی قابهای با مهاربندی همگرا به گونه‌ای طراحی می‌شوند که تحت بارهای لرزه‌ای، انرژی بوسیله کمانش و یا جاری شدن بادبند مستهلک شود. باقی اعضا و اتصالات برای تحمل سطح باری طراحی می‌شوند که منجر به کمانش و جاری شدن بادبند شود. این روش طراحی ناشی از دیدگاه طراحی برای ظرفیت است که در دستورالعمل‌های مختلف طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی مطرح است [1,2]. یک مطالعه آزمایشگاهی بر روی رفتار ورق‌های اتصال فولادی در دانشگاه آلبرتا (ریبنویچ-چنگ [5]) نشان داد تحت بارهای چرخه‌ای ظرفیت کششی این اجزای سازه‌ای در بازه تغییر شکل‌های مطالعه شده (تقریباً تا 10mm) ثابت باقی می‌ماند. همچنین این مطالعه نشان داد که مقاومت فشاری پس کمانشی ورق اتصال گرچه کمتر از ظرفیت کمانشی اولیه است لیکن پس از چند دوره بارگذاری به حالت پایداری سوق پیدا می‌کند. این مشاهدات نشان می‌دهد می‌توان از مزایای استهلاک انرژی ورق‌های اتصال نیز در قابهای با مهاربندی همگرا استفاده کرد. با وجود این مطالعات چندانی در این رابطه انجام نگرفته است.

بدین جهت یک مطالعه عددی در رابطه با رفتار ورق‌های اتصال تحت بارهای یکنوا کششی و فشاری و بارهای چرخه‌ای انجام شد که در ادامه تشریح می‌شود. در بخش اول پیشینه تحقیقات انجام گرفته بر روی عملکرد ورق‌های اتصال مرور شده و خلاصه‌ای از نتایج کارهای انجام گرفته ارائه می‌شود. همچنین نحوه مدل‌سازی و صحت سنجی یک مدل عددی بر اساس یکی از جدیدترین تحقیقات انجام شده بیان می‌شود. در بخش دوم بادبند نیز به مدل ساخته شده ورق اتصال اضافه شده و در نهایت یک مطالعه پارامتریک برای بررسی اندرکنش ورق اتصال و بادبند انجام می‌شود.

^۱ استاد بخش مهندسی عمران

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه



پیشینه

-عملکرد تحت اثر بارهای یکنوا:

از جمله تحقیقات اولیه‌ای که در رابطه با رفتار ورق‌های اتصال تحت بارهای یکنوا انجام گرفته‌اند می‌توان به کارهایی که در حوزه ارتجاعی بوسیله ویتنور (برگرفته از مرجع [4]) بر روی یک اتصال با ورق متداول در پلهای خرابایی از نوع وارن، ایروان (برگرفته از مرجع [4]) بر روی اتصال با ورق دوبل خرابی پرات و هاردین (برگرفته از مرجع [4])، دیویس (برگرفته از مرجع [8]) و وارسارلی (برگرفته از مرجع [4]) انجام شده‌اند، اشاره کرد. چاکرابتی - (برگرفته از مرجع [4]) و هاردادش - ژورهاد (برگرفته از مرجع [4])، به رفتار غیرارتجاعی اتصالات با ورق تحت بارهای یکنوا پرداخته‌اند. از نتایج کارهای آزمایشگاهی و تحقیقاتی دیگری نیز که انجام دادند یک مدل برش قطعه ای برای تخمین ظرفیت نهایی اتصال با ورق تحت بارگذاری کششی ارائه نموده‌اند.

تورنتون [6] یک روش کران پایین برای تعیین مقاومت فشاری اتصالات با ورق ارائه نمود. به صورتی که در این روش فرض می‌شود نیروی فشاری در ورق اتصال به وسیله ستون فرضی‌ای تحمل می‌شود که در بین انتهای بادبند و لبه‌های تیروستون متقاطع واقع است. روش پیشنهادی تورنتون برای محاسبه ظرفیت کمناش ارتجاعی متعاقباً برای در بر گرفتن اثرات غیر ارتجاعی نیز توسعه داده شد. (برگرفته از مرجع [4]) این کار با استفاده از ستون فرضی تورنتون و معادلات طراحی ستون انجام شد. بار کمناشی که بدینسان بدست می‌آید با بار جاری شدگی‌ای که با استفاده از روش عرض موثر ویتنور بدست می‌آید محدود می‌شود.

هو و چنگ (برگرفته از مرجع [8]) یک تحقیق آزمایشگاهی و عددی بر روی رفتار کمناشی اتصالات با ورق که تحت بارهای فشاری یکنوا قرار داده می‌شدند انجام دادند. برنامه آزمایشگاهی آنها بر روی اثرات ضخامت ورق، هندسه، شرایط مرزی و خروج از مرکزیت متمرکز بود. کار هو و چنگ نشان داد که کمناش ورق‌های نازک در باری بسیار پایین‌تر از بار تسلیمی اتفاق می‌افتد که با استفاده از روش ویتنور به دست می‌آید. در حالت کلی، بسته به نوع شرایط گیرداری خارج از صفحه‌ای که مهاربند ایجاد می‌کرد هم کمناش کلی و هم کمناش موضعی، مشاهده شد. تحلیل‌های عددی بیشتر نشان داد افزایش سختی وصله بین ورق اتصال و بادبند منجر به افزایش مقاومت کمناشی ورق اتصال می‌شود. آنها پیشنهاد کردند که اتصالات با ورق از این نوع بایستی به گونه‌ای طراحی شوند که فاصله بین انتهای ورق وصله و لبه‌های اعضای افقی و عمودی قاب به حداقل برسد.

یام و چنگ [9] اثرات ضخامت و اندازه ورق اتصال، زاویه بادبند، شرایط گیرداری خارج از صفحه بادبند، ممان‌های خمشی موجود در اعضای قاب و برون محوری خارج از صفحه بار وارده در مهاربند را بر روی رفتار و مقاومت ورق‌های اتصال تحت بار فشاری مورد بررسی قرار دادند. نمونه‌های آزمایشگاهی‌ای که آنها استفاده کردند از نمونه‌های استفاده شده توسط هو و چنگ بزرگتر بودند و در نتیجه رفتار غیرارتجاعی بیشتری داشتند. یام و چنگ ملاحظه نمودند که ظرفیت فشاری نمونه‌های ورق اتصال تقریباً نسبت مستقیم با ضخامتشان دارند. ممان خمشی موجود در تیر و ستون مجاور در حوزه مورد مطالعه اثر چندانی بر ظرفیت فشاری ورق نداشتند. همچنین نتایج بررسی‌های آنها نشان داد روش پیشنهادی تورنتون برای تخمین ظرفیت ورق‌های اتصال محافظه کارانه است.

-عملکرد تحت اثر بارهای چرخه‌ای

جین و همکاران (برگرفته از مرجع [8]) اثرات سختی خمشی ورق اتصال و طول بادبند را بر روی رفتار چرخه‌ای اعضای بادبند مورد بررسی قرار دادند. اگرچه عملکرد بادبند موضوع اصلی این تحقیق بود، لکن سه عدد ورق اتصال مختلف در کنار طول‌های مختلف بادبندها مورد آزمایش قرار گرفت. از ۱۴ نمونه آزمایش شده هیچ کدام برای حالتی که ورق اتصال مقاومت تسلیم کمتری از بادبند داشته باشد طراحی نشدند. جین و همکاران نتیجه گرفتند که افزایش سختی خمشی ورق اتصال به مقداری بزرگتر از بادبند مزیت چندانی ندارد. لیکن آنها متوجه شدند که افزایش سختی خمشی ورق اتصال (تا سختی خمشی بادبند) در حالت کلی منجر به کاهش در طول موثر بادبند می‌شود. و این موضوع دقیقاً منجر به بهبود عملکرد چرخه‌ای عضو مهاری می‌شود.

آستانه اصل و همکاران [4] رفتار چرخه‌ای بادبندهایی متشکل از جفت نبشی پشت به پشت متصل به ورق اتصال را مطالعه نمودند. موضوع اصلی کار آنها نیز رفتار بادبند بود. کمناش خارج از صفحه و داخل صفحه بادبندها مورد مطالعه قرار گرفت. کاهش قابل ملاحظه ظرفیت و رفتار ترد ورق‌های اتصال در برخی از نمونه‌های آنها ملاحظه شد. برای جلوگیری از این رفتار ترد، آنها پیشنهاد کردند در بین انتهای بادبند و خطی که نقاط اتصال ورق به اعضای قاب را به هم وصل می‌کند یک طول کمناش آزاد به اندازه دو برابر ضخامت ورق اتصال ایجاد شود.

رابینویچ و چنگ [5] عملکرد چرخه‌ای اتصالات با ورق را بررسی کردند. در این تحقیق اثرات ضخامت ورق و هندسه آن، سخت کننده لبه و لغزش پیچ‌ها بررسی شدند. نتایج آزمایشات آنها نشان داد که بارگذاری چرخه‌ای باعث می‌شود مقاومت فشاری ورق‌های اتصال پس از چند چرخه بارگذاری به یک میزان پس کمناشی پایدار برسد. اگرچه افزودن سخت کننده‌های لبه تاثیر چندانی در مقاومت فشاری اولیه ورق‌ها ندارد لکن این سخت کننده‌ها باعث افزایش مقاومت فشاری پس کمناشی و همین‌طور میزان انرژی مستهلک شده می‌شوند. در این آزمایشات نیز نظیر آزمایشات انجام گرفته توسط هو و چنگ (برگرفته از مرجع [8]) و یام و چنگ [9] عملکرد ورق اتصال بدون در نظر گرفتن اندر کنش بین ورق و بادبند انجام گرفت.

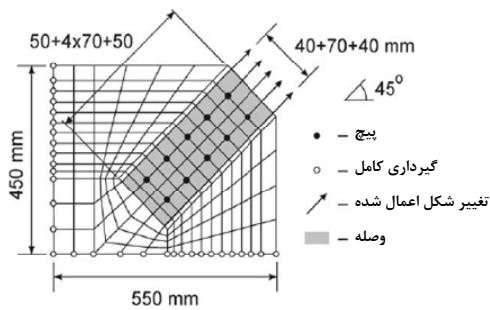
والبریچ و همکاران [8] مطالعه‌ای عددی بر روی رفتار اتصالات با ورق تحت بارهای چرخه‌ای با ساخت تعدادی نمونه‌های عددی در محیط نرم افزار ABAQUS انجام دادند. آنها برای صحت سنجی مدل‌های خود برای حالت بارگذاری یکنوا از نتایج بدست آمده از آزمایشات یام و چنگ [9] و برای حالت بارگذاری چرخه‌ای از نتایج کار رابینویچ و چنگ [5] استفاده کردند. در این تحقیق عواملی مانند ضخامت ورق هندسه ورق، اعضای قاب، رفتار



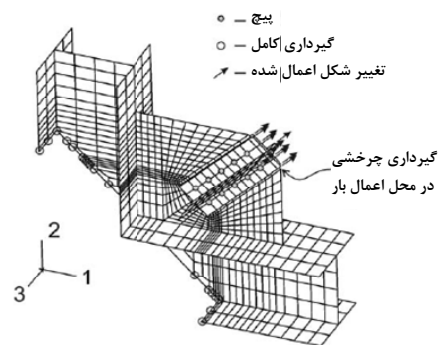
غیرخطی مصالح، عیوب اولیه قطعات، لغزش پیچ ها و شرایط مرزی بررسی شدند. همچنین برای بررسی نظریه ای که رابینوپیچ و چنگ درباره روش طراحی بادبند قوی ورق ضعیف ارائه داده بودند، بادبند را نیز در مدل‌های خود وارد نمودند. آنها بر اساس نتایج بدست آمده پیشنهادهایی برای نحوه مدل‌سازی رفتار مصالح، پیچ ها و عیوب اولیه در ورق ارائه کردند. بررسی‌های آنها نشان داد منحنی‌های نیرو- تغییر شکل در حالت بارگذاری یکنوا پوش منحنی‌های هیترزیس همان نمونه‌ها تحت بارهای چرخشی‌اند. به نظر والبریج و همکاران در حالتی که ورق اتصال زودتر از بادبند کمانش می‌کند استهلاک انرژی بهتری صورت می‌گیرد.

مدل سازی اجزا محدود ورق اتصال:

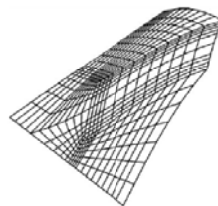
در این مقاله برای شبیه سازی عملکرد ورق اتصال تحت بارگذاری یکنوا و چرخشی از نرم افزار Ansys11 استفاده شده است. ابتدا ورق اتصال نوع A2 (شکل ۱ و ۲) تحقیق والبریج و همکاران که مطابق نمونه آزمایشگاهی رابینوپیچ و چنگ [5] ساخته شده و بر اساس نتایج بارگذاری چرخشی سنجی شده بود به همراه اعضای قاب مدل‌سازی شد. در این مدل و همچنین در سایر مدل‌ها بنابر نتایج کار والبریج و همکاران رفتار مصالح به صورت الاستوپلاستیک فرض شد. همچنین عیوب اولیه موجود در ورق اتصال به صورت یک موج نیم سینوسی با حداکثر دامنه ۲ میلی‌متر در نظر گرفته شد (شکل ۳). نتایج تحلیل‌های انجام شده با نتایج کار والبریج و همکاران بخوبی با هم مطابقت داشتند (شکل ۴).



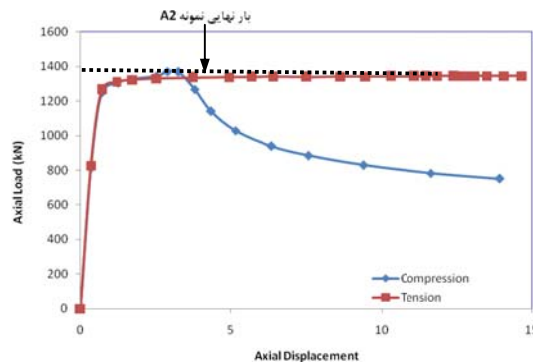
شکل ۲- جزئیات ورق اتصال مدل شده



شکل ۱- مدل ورق اتصال و اعضای قاب (مطابق کار والبریج ۱۹۹۸)



شکل ۳- عیوب اولیه ورق به شکل نیم موج سینوسی با دامنه ۲mm با مقیاس ۵۰ برابر

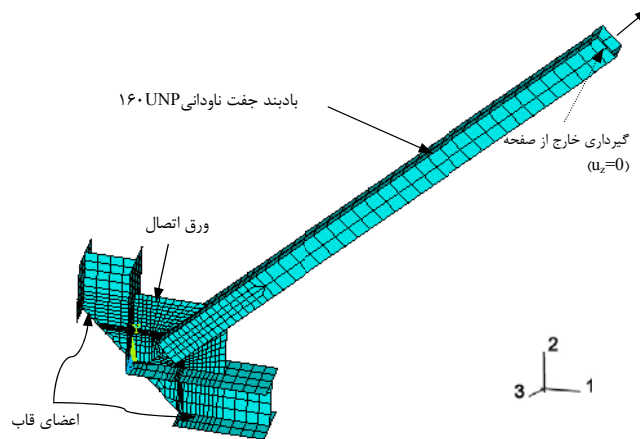


شکل ۴- مقایسه نتایج تحلیل با نمونه آزمایشگاهی A2



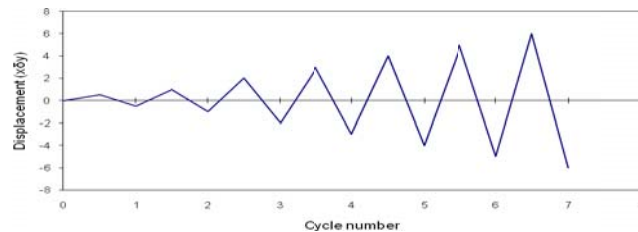
مطالعه پارامتری

برای انجام مطالعه پارامتریک مورد اشاره در این بخش مدل تائید شده در بخش قبل بگونه‌ای تغییر داده شد تا عضو مهاری را در بر گیرد. شکل (۵). هدف این مطالعه پارامتریک بررسی اندرکنش بین ورق اتصال و عضو مهاری‌ای با مقطع جفت ناودانی است.



شکل ۵- مدل اجزا محدود مجموعه ورق اتصال و بادبند

به این منظور بارگذاری‌ای که در شکل (۶) آمده‌است بر روی مدل یاد شده اعمال شد. بارگذاری مذکور به صورت جابجایی‌هایی که در هر چرخه به اندازه δ_y افزایش می‌یابند طراحی شده است. δ_y جابجایی جاری شدگی است که از تحلیل ورق اتصال تحت بار یکنوا بدست می‌آید. (براساس روش ATC-24 [3]) δ_y در تمامی مدل‌ها برابر ۲ میلی‌متر در نظر گرفته شد. میزان جابجایی‌ها تا ۶ برابر حالت جاری شدگی یعنی تا ۱۲ میلی‌متر افزایش می‌یابد.



شکل ۶- نمودار بارگذاری چرخه‌ای

بادبندها به صورت مقاطع جفت ناودانی ۱۶۰-UNP در نظر گرفته شد. مدل‌های مختلف به گونه‌ای تهیه شدند تا بتوان رفتار مجموعه ورق اتصال و بادبند را در حالت‌های زیر بررسی کرد:

- حالتی که ظرفیت فشاری ورق اتصال از بادبند کمتر باشد (BGC)
- حالتی که ظرفیت فشاری بادبند از ورق اتصال کمتر باشد (BBC)

برای پوشش دادن موارد بالا مدل‌های ساخته شده شامل ورق‌های اتصال با سه ضخامت ۶، ۹ و ۱۲ میلی‌متراند (به ترتیب GP01، GP02، GP03). بادبند از نوع ناودانی ۱۶۰-UNP انتخاب شد که در قاب‌های فلزی با مهاربندی همگرا مصرف آن متداول است. برای آنکه اثر سختی مقطع بادبند در رفتار مجموعه ورق اتصال - بادبند مطالعه شود بدون آن که عمق مقطع تغییر داده شود ضخامت و عرض بالها به گونه‌ای تغییر داده شد تا سه مقطع با سختی‌های مختلف بدست آید. همچنین هر کدام از بادبندها در دو طول مختلف در نظر گرفته شدند تا اثر لاغری بادبند در رفتار مجموعه اتصال با ورق مطالعه شود. جزئیات مدل‌ها در جدول (۲ و ۱) آمده است.

نام مقطع	h	t _w	b	t _f
UNP160-21	160	8	75	10.5
UNP160-19	160	7.5	65	10.5
UNP160-16	160	7	55	10.5

جدول ۱- مشخصات مقاطع ناودانی

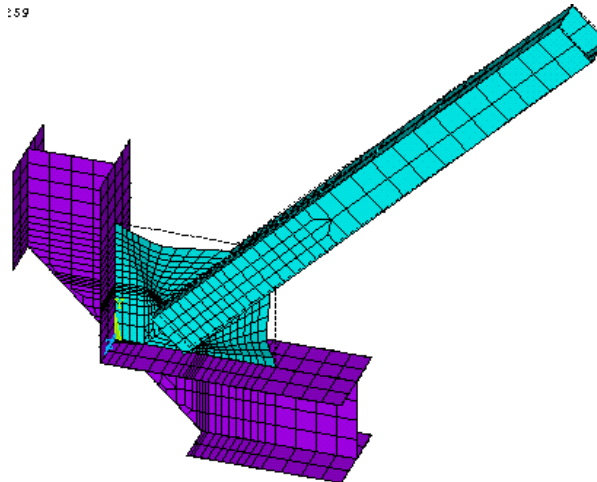
بادبند	مقطع	نحوه قرارگیری	r_{min}	Length	KL/r
B1	2UNP160-19	□	38.63545	1570	40.64
B2	2UNP160-19	□	38.63545	3140	81.27
B3	2UNP160-16	□	33.18417	1570	47.31
B4	2UNP160-16	□	33.18417	3140	94.62
B5	2UNP160-21	□	44.06215	1570	35.68
B6	2UNP160-21	□	44.06215	3140	71.26

جدول ۲- مشخصات بادبندهای مدل شده

نتایج مطالعه پارامتریک:

تحت بارگذاری چرخه‌ای ظرفیت کششی مجموعه ورق اتصال و بادبند هم با تسلیم ورق اتصال و هم با تسلیم بادبند محدود شد. جاری شدگی ورق اتصال از مقایسه دو نمودار بدست می‌آید: نیروی وارده- جابجایی ورق اتصال و نیروی وارده- جابجایی کلی که شامل جابجایی های ورق و بادبند می‌شد. چنانچه جاری شدگی در ورق اتصال اتفاق افتاده باشد. باید هر دو نمودار رفتار غیرارتجاعی داشته باشند و اگر چنانچه بادبند جاری شده باشد باید نمودار ورق اتصال هیچ گونه تغییر شکل پلاستیک نشان ندهد. در چرخه هایی که بار به صورت فشاری اعمال می‌شد، ظرفیت باربری مجموعه ورق اتصال و بادبند در این حالت هم با کماتش ورق اتصال همانطور که در شکل (۷) نشان داده شده‌است، و هم با کماتش خارج از صفحه بادبند شکل (۸) محدود می‌شد.

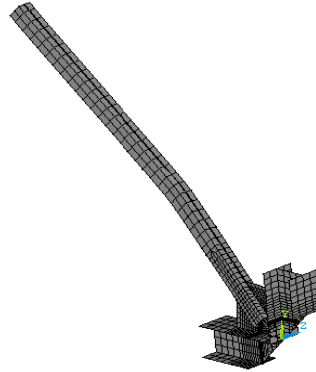
۱۵۹



شکل ۷- کماتش ورق

اثر مکانیسم خرابی:

مکانیسم خرابی حاکم در حالتی که بار به صورت کششی وارد می‌شود هم به صورت جاری شدن ورق اتصال و هم به صورت جاری شدن بادبند مشاهده شد همچنین در حالتی که بار به صورت فشاری وارد می‌شد نیز هر دو صورت کماتش ورق و نیز کماتش بادبند به عنوان مکانیسم خرابی حاکم مشاهده شدند. شکل (۹) تفاوت عملکرد مجموعه ورق اتصال و بادبند را در حالت های مختلف خرابی برای یک ورق ۹ میلیمتری نشان می‌دهد (GP02) شکل (۹-الف) حالتی را که خرابی حاکم در کشش جاری شدگی ورق و در فشار کماتش ورق بوده را نشان می‌دهد. شکل (۹-ب) نیز حالتی را که خرابی حاکم در کشش جاری شدگی ورق و در فشار کماتش بادبند بوده را نشان می‌دهد. مقایسه این دو شکل نشان می‌دهد که کماتش بادبند به عنوان مکانیسم خرابی حاکم، کاهش بیشتری در ظرفیت فشاری تحت بار چرخه‌ای ایجاد می‌کند. انرژی جذب شده در مجموعه های مختلف ورق اتصال و بادبند در شکل (۱۰) نشان داده شده است. مقایسه این نمودارها به خوبی نشان می‌دهد در حالتی که مکانیسم خرابی حاکم در فشار کماتش ورق بوده انرژی بیشتری نسبت به نمونه هایی که مکانیسم خرابی حاکم در فشار کماتش بادبند بوده جذب شده است.



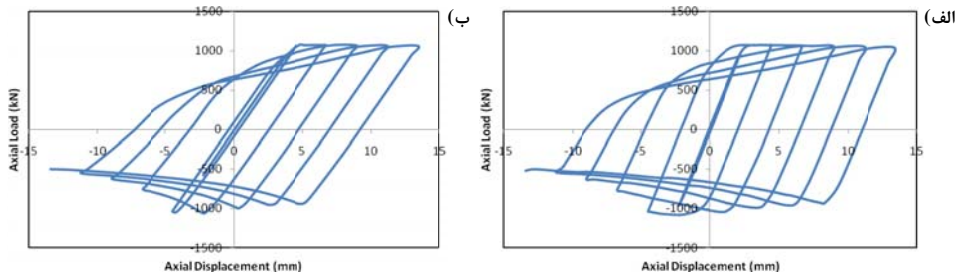
شکل ۸- کمانش بادبند

اثر ضخامت ورق اتصال:

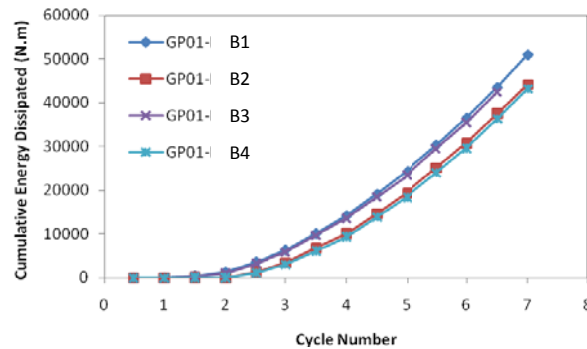
شکل (۱۱) تفاوت رفتار مجموعه های ورق اتصال و بادبندی را که در آنها مکانیسم خرابی حاکم در فشار، کمانش ورق بوده است نشان می دهد. اگرچه هر سه ورق رفتار خوبی نشان داده اند لکن ورق با ضخامت بیشتر منحنی هیستریزس پرتری دارد

نتیجه گیری

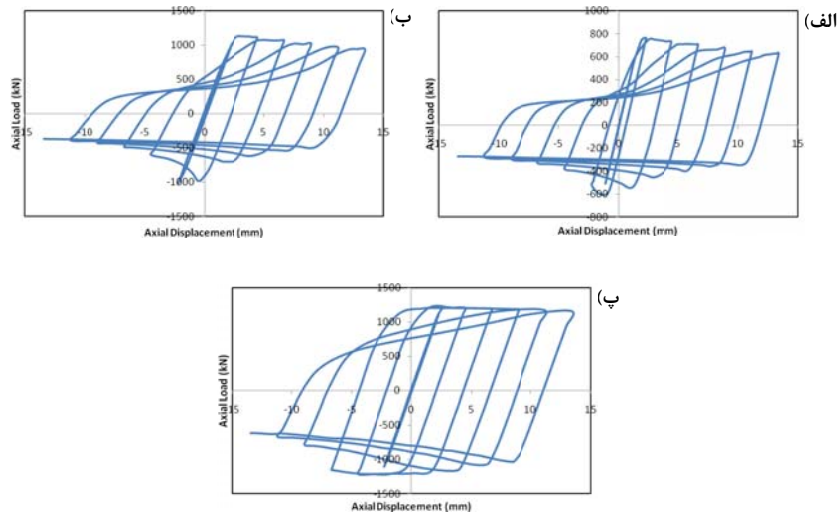
مدلهای اجزا محدود ورق های اتصال بر اساس کارهای محققان قبلی تهیه و بر اساس آنها اعتبار سنجی شدند. مدلها بخوبی بار کمانشی و کاهش ظرفیت فشاری پس کمانشی نمونه ها را تحت بارهای چرخه ای شبیه سازی کردند. یک مطالعه پارامتریک بر روی رفتار نمونه های مختلف اتصال با ورق در قابهای با مهاربندی همگرا انجام شد پارامترهایی که بررسی شد شامل: اندرکنش ورق اتصال- بادبند و اثر ضخامت ورق اتصال بودند.



شکل ۹- اثر مکانیسم خرابی حاکم بر روی منحنی های هیستریزس: الف) کمانش ورق (BGC) و ب) کمانش بادبند (BBC)



شکل ۱۰- اثر مکانیسم خرابی حاکم بر روی میزان جذب انرژی: B1, B3 کمانش ورق و B2, B4 کمانش بادبند



شکل ۱۱- اثر ضخامت ورق اتصال: الف) ۶mm ، ب) ۹mm و پ) ۱۲mm

نظریه ورق ضعیف- بادبند قوی به عنوان یک روش طراحی جایگزین بررسی شد. نتایج زیر از مطالعه انجام شده قابل استخراج است:

- مکانیسم خرابی حاکم در کشش چه جاری شدگی ورق باشد و چه جاری شدگی بادبند تاثیر چندانی بر عملکرد اتصال در بازه تغییر شکل های مطالعه شده ندارد.
- کمانش ورق اتصال منجر به کاهش کمی در ظرفیت فشاری اتصال می شود همچنین در این حالت اتصال عملکرد پایدارتری دارد.
- کمانش ورق اتصال منجر به جذب انرژی بهتری نسبت به حالتی که کمانش بادبند مکانیسم خرابی حاکم است می شود.
- اگرچه تمامی ورق های اتصال عملکرد خوبی نشان می دهند لکن ورق های ضخیم تر حلقه های هیترزیس توپتری دارند.
- در حالت کلی منحنی های هیستریزیس برای حالت ورق ضعیف- بادبند قوی جمع شدگی (پینچینگ) کمتری دارند و نیز از ظرفیت فشاری پس کمانشی بیشتری نسبت به مجموعه های ورق اتصال- بادبند که به طور معمول طراحی می شوند برخوردارند.

مراجع:

1. AISC (2005a). *Specifications for Structural Steel Buildings*. Chicago: American Institute of Steel Construction (free download at www.aisc.org).
2. AISC (2005c). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. Chicago: American Institute of Steel Construction (free download at www.aisc.org).
3. Applied Technology Council. 1992. *Guidelines for cyclic seismic testing of components of steel structures*. Applied Technology Council (ATC), Redwood City, Calif. Report no. 24.
4. Astaneh-Asl, A. (1998). *Seismic Behavior and Design of Gusset Plates* in Steel Technical Information and Product Services (Steel TIPS) report. Moraga, CA: Structural Steel Educational Council (www.steeltips.org).
5. Rabinovitch, J.S., and Cheng, J.J.R. 1993. *Cyclic behavior of steel gusset plate connections*. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alta. Structural Engineering Report no. 191
6. Thornton, W.A. 1984. *Bracing connections for heavy construction*. AISC Engineering Journal, 21(3): 139-148.
7. Thornton, W. A. (2001). *Seismic Design of Connections in Concentrically Braced Frames*, Roswell, GA: Cives Engineering Corporation (www.cives.com).
8. Walbridge, S.S., Grondin, G.Y., and Cheng, J.J.R. 1998. *An analysis of the cyclic behaviour of steel gusset plate connections*. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alta. Structural Engineering Report no. 225.
9. Yam, M.C.H., and Cheng, J.J.R. 1993. *Experimental investigation of the compressive behaviour of gusset plate connections*. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alta. Structural Engineering Report no. 194.