



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

سال چهل و پنج، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۲، صفحه ۱ تا ۱۲  
Vol. 45, No.1, Summer 2013, pp. 1-12



نشریه علمی - پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)  
Amirkabir Journal of Science & Research (Civil & Environmental Engineering)  
(AJSR - CEE)

## تأثیر فاصله آزاد انتهایی مهاربند در شکل‌پذیری قاب‌های فولادی دارای مهاربندهای همگرا

مهرداد علی پور<sup>۱\*</sup>، علی اکبر آقاچوک<sup>۲</sup>

۱ کارشناسی ارشد مهندسی زلزله دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس

۲ استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس

(دریافت ۱۳۹۰/۴/۱۸، پذیرش ۹۲/۲/۲)

### چکیده

نیاز به شکل‌پذیری در قاب‌های دارای مهاربندهای همگرا، باعث شده است محققین مطالعات گسترده‌ای را در زمینه عوامل موثر بر شکل‌پذیری این نوع سازه‌ها انجام دهند. فاصله آزاد انتهایی مهاربند یکی از عوامل موثر در این موضوع است که در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای برای تأمین رفتار شکل‌پذیر در نظر گرفته شده است. در تحقیق حاضر اثر فاصله آزاد انتهایی در رفتار لرزه‌ای این نوع سازه‌ها بررسی شده است. برای این منظور نمونه‌هایی با دو نوع ورق اتصال مستطیلی و باریک شده در نظر گرفته و تحت بارگذاری چرخه‌ای تحلیل شده‌اند. بمنظور داشتن معیاری برای تعیین حد نهایی باربری این گونه قاب‌ها، از مفهوم کرنش معادل پلاستیک برای پیش‌بینی شکست در نواحی بحرانی استفاده شده است. نواحی بحرانی در این نوع سازه‌ها میانه مهاربند و گوشه ورق اتصال است. با پیش‌بینی شکست در این نواحی ظرفیت نهایی شکل‌پذیری نمونه‌ها مشخص و با هم مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهند در حالی که در ورق‌های اتصال باریک شده رعایت فاصله آزاد  $2t_p$  (پیشنهاد آیین‌نامه‌ها) بهینه‌ترین حالت برای دستیابی به رفتار شکل‌پذیر در این نوع سازه‌ها است، در ورق‌های اتصال مستطیلی امکان کاهش این فاصله و در نتیجه دستیابی به ورق اتصال کوچکتر در عین حفظ رفتار شکل‌پذیر وجود دارد.

### کلمات کلیدی

مهاربند همگرا، ورق اتصال، فاصله آزاد انتهایی، رفتار لرزه‌ای و شکل‌پذیری

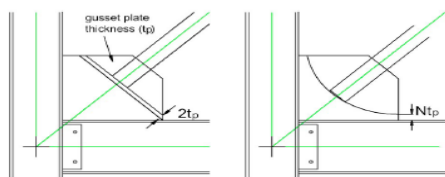
\* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: mrdalipour@gmail.com

## ۱- مقدمه

نیازی به رعایت ضابطه خمش نیست. یکی از راه‌های تحقق این هدف، رعایت فاصله آزادی در قسمت ورق اتصال، در انتهای مهاربند است [۴] [۶]. محققان برای فراهم نمودن امکان چرخش آزادانه ورق اتصال در قسمت انتهایی مهاربند، در هنگام کمانش خارج از صفحه مهاربند، در قاب‌های با شکل‌پذیری ویژه فاصله آزادی برابر با  $2t_p$  عمود بر محور مهاربند را پیشنهاد داده‌اند (شکل (۱-الف)).

در مطالعات اخیر اثر فاصله آزادی که اولین بار توسط آستانه اصل [۸] پیشنهاد شده و سپس در آیین‌نامه‌های لرزه ای برای قاب‌های با شکل‌پذیری ویژه برای ارضای چرخش آزاد انتهای مهاربند استفاده شد، مورد تردید قرار گرفته است. آفاکوچک و قلمی فرد با مطالعه اندرکنش بین ورق اتصال و مهاربند دیدند که رعایت فاصله آزاد  $2t_p$  در برخی حالات باعث کاهش مشخصه‌های عملکردی قاب می‌شود [۳]. لمن [۱۴] با انجام مطالعات آزمایشگاهی به این نتیجه رسید که رعایت این فاصله آزاد منجر به طراحی اتصال قوی و غیر اقتصادی می‌شود و این موضوع روی عملکرد کل سازه اثرگذار است. یو (۲۰۰۸) [۱۶] و [۱۷] فاصله بیضوی به اندازه  $8t_p$  که  $t_p$  ضخامت ورق اتصال است را پیشنهاد داده است که فاصله‌ای کمتر از  $2t_p$  خطی است (شکل (۱-ب)).

در تحقیق حاضر اثر فاصله آزاد انتهای مهاربند در ورق اتصال مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور یک قاب یک دهانه یک طبقه با مهاربند همگرا که با ورق اتصال به سازه متصل شده و نماینده طبقه پایین یک ساختمان با ارتفاع متوسط است، برای دیدن اندرکنش اجزاء سازه ای، مهاربند و ورق اتصال در نظر گرفته شد. دو نوع ورق اتصال مستطیلی و باریک شده مورد استفاده قرار گرفت. ورق‌های مستطیلی یک بار با ضخامت ثابت و بار دیگر با ضخامت متغیر که وابسته به مقاومت فشاری بود، در نظر گرفته شد. با انجام تحلیل اجزای محدود و استفاده از مفهوم کرنش معادل پلاستیک حد نهایی ظرفیت شکل‌پذیری نمونه‌ها تحت بارگذاری چرخه‌ای تعیین شده و سپس با استفاده از نتایج تحلیل‌ها، تأثیر فاصله آزاد انتهایی مهاربند در رفتار لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی همگرا مطالعه شد.



شکل (۱): الف) فاصله آزاد  $2t_p$  خطی. ب) فاصله آزاد بیضوی

در زلزله ۱۹۹۴ نورتریچ ضعف‌هایی در سامانه قاب‌های خمشی فولادی دیده شد. بعد از آن مجدداً گرایش چشم‌گیری به استفاده از قاب‌های مهاربندی فولادی همگرا به عنوان سامانه مقاوم در برابر بارهای جانبی در بین مهندسان دیده شد. سامانه‌های مهاربندی همگرای فولادی بسیار اقتصادی هستند و همچنین سختی و مقاومت کافی آن‌ها این نوع سامانه‌ها را برای طراحی لرزه‌ای بسیار مناسب نموده است.

در قاب‌های مهاربندی همگرا، مهاربندها وظیفه مقاومت در برابر بارهای جانبی را دارند. عضو مهاربندی با جاری شدن در کشش و تغییرشکل غیر الاستیک پس کمانشی در فشار، انرژی را در مدت زمان اثر زلزله مستهلک می‌نماید. در این نوع سازه‌ها عضو مهاربندی معمولاً بوسیله ورق اتصال به اعضای دیگر قاب مانند تیرها و ستون‌ها متصل می‌شود. کمانش خارج از صفحه مهاربند، تغییر شکل قابل ملاحظه‌ای را به قسمت اتصالات و بخصوص ورق اتصال تحمیل می‌نماید.

در گذشته تحقیقات بسیاری بر روی رفتار عضو مهاربندی و ورق اتصال انجام شده است. لی و برونو [۱۲] روی خرابی و استهلاک بار و کمانش مهاربند و همچنین پخش انرژی در هر دوره، آزمایشگاهی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که مهاربندهای لاغر می‌توانند جایجایی غیرالاستیک بیشتری را تحمل نمایند. لاغری کل و لاغری تک پایه نیز مطالعه شده و دیده شد که لاغری تک پایه روی رفتار شکل‌پذیر کل عضو اثر زیادی دارد [۲]. محققان همچنین دیدند که نحوه شکست در این گونه سازه‌ها بطور کلی کمانش محلی، ایجاد مفاصل پلاستیک و وقوع پدیده خستگی کم دوره در ورق اتصال و ترک در محل جوش‌ها است [۷]. ورق‌های با سخت‌کننده لبه نیز تحلیل شد [۱۵]. این ورق‌ها باعث افزایش مقاومت فشاری نمونه‌ها شده‌اند. در خصوص رفتار ورق‌های اتصالی که روی ستون‌های قوطی قرار می‌گیرد و ورق اتصال در اتصالات مهاربند  $x$ ، نیز تحقیقاتی انجام شد [۱] [۵].

آیین‌نامه‌های کنونی لازم می‌دانند که قسمت اتصالات مهاربند به تیر و ستون، ورق اتصال و جزئیات آن مقاوم‌تر از خود مهاربند باشند، تا از شکست ناخواسته این قسمت‌ها قبل از شکست خود مهاربند اطمینان حاصل شود. بدین منظور آیین‌نامه‌های لرزه‌ای لازم می‌دانند که ورق اتصال قاب‌های دارای مهاربند همگرا با شکل‌پذیری ویژه برای مقاومت خمشی نیز طراحی شود. به عنوان یک روش جایگزین، این آیین‌نامه‌ها اجازه می‌دهند که اگر اتصال این نوع سامانه‌ها طوری طراحی شود که مهاربند براحتی بتواند کمانش خارج از صفحه انجام دهد، دیگر

## ۲- طراحی نمونه‌ها

در این مطالعات یک قاب یک دهانه یک طبقه دارای مهاربند همگرای قطری شامل دو ستون، دو تیر، دو ورق اتصال و عضو مهاربندی مورد ارزیابی قرار گرفت. طراحی نمونه‌ها در نرم افزار آباکوس<sup>۱</sup> انجام شد. ستون‌ها با مقطع IPB 300، تیرها با مقطع IPE 240 و مقطع بادبندها  $8 \times 120 \times 120 \text{ BOX}$  در نظر گرفته شدند. ارتفاع مرکز به مرکز تیرها  $3/2$  متر ثابت بوده و طول دهانه مرکز به مرکز از  $3/2$  تا  $5/5$  متر متغیر بود. یکی از نمونه‌ها و شرایط مرزی در نظر گرفته شده در شکل (۲-الف) نشان داده شده است. برای عضو مهاربندی از مقاطع تو خالی استفاده شد. مهاربند بوسیله دو ورق اتصال به تیر و ستون سازه متصل می‌شد. برای اتصال تیر به ستون و برای شبیه‌سازی اتصال برشی با نبشی جان و همچنین شبیه‌سازی هر چه بهتر اتصال مفصلی اتصال تیر به ستون، ۸۰ درصد جان تیر ادامه نموده و به بال ستون متصل شده است (شکل (۲-ب)). برای دیدن رفتار غیرخطی دوره‌ای در اعضا، از رفتار دو خطی مواد، با سخت-شوندگی جنبشی استفاده شد. جنس فولاد، نمره ST 37 انتخاب شد.

برای تحلیل المان محدود نمونه‌ها از المان پوسته با ۴ گره برای طراحی کل اعضای قاب استفاده شد. هر گره این نوع المان دارای شش درجه آزادی است. در قسمت‌هایی که کمانش موضعی و رفتار غیر خطی اعضا مهم بود (مثل میانه مهاربند و قسمت ورق اتصال) اندازه المان‌ها بطور تقریبی ۲۵ در ۲۵ میلیمتر (مشابه تحلیل‌های یو ۲۰۰۷ [۱۷]) در نظر گرفته شد. در بقیه قسمت‌های سازه، اندازه المان‌ها بزرگ‌تر انتخاب شد. در شکل (۲-ج) نمونه‌ای از مش‌بندی نمونه‌ها نشان داده شده است. برای تأمین شرایط، برای کمانش خارج از صفحه مهاربند در شبیه‌سازی المان محدود، جابجایی اولیه کمی در جهت خارج از صفحه‌ای به اندازه  $L/1000$  (L طول مهاربند است) در میانه مهاربند اعمال شد (شکل (۲-د)). نمونه‌ها تحت بارگذاری چرخه-ای غیرخطی با توجه به دستورالعمل ATC-24 [۹] قرار گرفتند (شکل (۲-ه)). برای شبیه‌سازی مفصلی پای ستون‌ها از تکیه‌گاه مفصلی در قسمت پای ستون‌ها استفاده شد. حرکت همه بال‌های تیر و ستون در جهت خارج از صفحه، برای جلوگیری از کمانش

خارج از صفحه اعضا، مقید شد. برای اعمال بارگذاری موردنظر از قطعه صلبی که بطور سراسری روی بال تیر بالایی قاب قرار داشت، استفاده شد. این قطعه انتقال نیرو از دال را شبیه‌سازی می‌نمود.

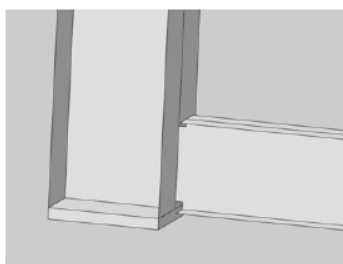
## ۳- تحلیل شکست در نمونه‌ها

به طور کلی خستگی، به پدیده‌ای گفته می‌شود که در آن اعضای سازه‌ای تحت اثر بارگذاری چرخه‌ای بر اثر تجمع و پیشرفت خرابی و ترک دچار شکست می‌شود. خستگی با تکرار زیاد یعنی شکست طی تعداد زیادی چرخه بارگذاری که با توجه به نوع مصالح از هزار تا میلیون دوره متغیر است. در این نوع شکست تنش‌هایی که در اعضا ایجاد می‌شود بسیار کمتر از تنش‌های جاری‌شدگی است، در نتیجه رفتار کلی، از تغییر شکل‌های پلاستیک اثر نمی‌پذیرد و پیش‌بینی دوام خستگی بر پایه تنش‌های الاستیک انجام می‌شود. خستگی با تکرار کم<sup>۲</sup> یعنی شکست مصالح در تعداد چرخه‌های کم (۱۰ تا ۱۰۰۰ دوره) که جاری‌شدگی اعضا یا تجمع تنش و کرنش‌های پلاستیک در منطقه‌ای خاص عامل تعیین کننده در این گونه شکست است. شکست اجزای سازه‌ای در اثر بارهای ناشی از زلزله یکی از مثال‌های این نوع بارگذاری است.

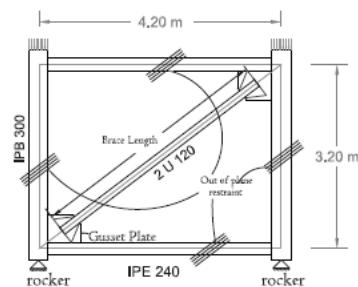
در قاب‌های مهاربندی شده همگرا که شکست ابتدا در مهاربندها روی می‌دهد، دو ناحیه بحرانی وجود دارد که عبارتند از میانه مهاربند و قسمت جوش ورق اتصال به تیر و ستون. ال تاویل و همکارانش (۱۹۹۸) [۱۰] برای ارزیابی رفتار غیرالاستیک و پیش‌بینی شکست در اتصالات قاب خمشی فولادی از کرنش پلاستیک معادل و اندازه مؤلفه‌های تنش هیدرواستاتیک استفاده نموده‌اند. این مطالعه بر روی مؤلفه‌های هیدرواستاتیک متمرکز شده زیرا شکست ترد در تغییر شکل‌های نسبی کم دیده شده بود. محققان دیگر [۱۱] از روش منحنی S-N بر پایه کرنش‌های پلاستیک برای پیش‌بینی شکست با تکرار کم در سازه‌های فلزی تحت بارگذاری دوره‌ای غیرالاستیک استفاده نموده‌اند. کانوینده و دیرلین [۱۲] مدل‌های شکست با تکرار کم را بر پایه تحلیل المان محدود غیرالاستیک با دقت بالا با توجه به کرنش‌های پلاستیک معادل و حالات تنش هیدرواستاتیک ارائه نموده‌اند.



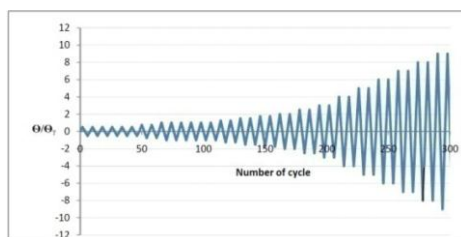
(ج)



(ب)



(الف)



(ه)



(د)

شکل (۲): شبیه‌سازی تحلیلی

جوش اتصال ورق اتصال به تیر و ستون برابر ۰/۰۳۳ ارائه می‌دهد [۱۶] [۱۷].

در تحقیق حاضر برای داشتن معیاری مناسب برای بررسی رفتار و حد شکل‌پذیری نمونه‌ها و پیش‌بینی ظرفیت نهایی از مفهوم  $\mathcal{E}_{eqv}^{pl}$  که یو [۱۷] در نظر گرفته بود استفاده شده است. همچنین فرض شد که معیارها و مقدارهایی که یو برای دیدن ترک و پارگی تعیین نموده بود در این نمونه‌ها نیز صادق است. با توجه به این که در شبیه‌سازی‌های عددی، مقدار کرنش معادل پلاستیک ( $\mathcal{E}_{eqv}^{pl}$ ) به اندازه المان حساس است، در نقاط بحرانی در همه نمونه‌ها از اندازه المان که یو مشخص نموده بود استفاده شد.

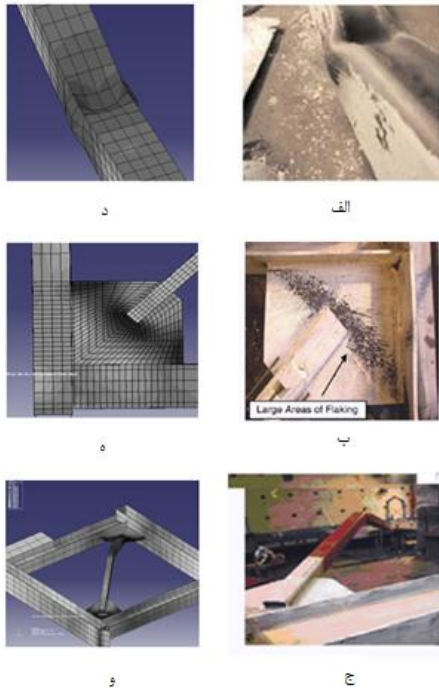
#### ۴- اعتبارسنجی

برای اطمینان از درستی شبیه‌سازی غیرالاستیک رفتار نمونه‌ها، با ساخت نمونه‌ای نتایج بدست آمده اعتبارسنجی شد. برای این منظور از نمونه‌ای که هم به صورت عملی و هم به صورت عددی بررسی شده بود استفاده شد [۱۶]. مشخصات مصالح و نمونه در مراجع [۱۴] [۱۶] موجود است. شرایط مرزی مشابه شرایطی بود که در بخش قبل تشریح شد.

اخیراً یو و همکارانش [۱۶] [۱۷] از مفهوم کرنش معادل پلاستیک برای پیش‌بینی شکست تحت بارگذاری چرخه‌ای در مهاربند و ورق اتصال استفاده نموده‌اند. در این تحقیقات آنان برای محاسبه کرنش پلاستیک معادل، از معادله کلی ون میزز استفاده نموده‌اند.

$$\mathcal{E}_{eqv}^{pl} = \frac{1}{\sqrt{2}(1+\nu')} \left[ \left( \varepsilon_x^{pl} - \varepsilon_y^{pl} \right)^2 + \left( \varepsilon_y^{pl} - \varepsilon_z^{pl} \right)^2 + \left( \varepsilon_z^{pl} - \varepsilon_x^{pl} \right)^2 + \frac{2}{3} \left( \gamma_{xy}^{pl2} + \gamma_{yz}^{pl2} + \gamma_{zx}^{pl2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

که در آن  $\varepsilon_x^{pl}$ ،  $\varepsilon_y^{pl}$  و  $\varepsilon_z^{pl}$  مؤلفه‌های کرنش و  $\gamma_{xy}^{pl}$  ضریب پواسن مؤثر است. در این تحقیقات با اندازه‌گیری کرنش معادل پلاستیک در نمونه‌های آزمایشگاهی و مناطق بحرانی شکست و دیدن این که در چه کرنش پلاستیکی این ترک‌ها و شکست‌ها نمایان می‌شدند، معیاری برای مشخص نمودن  $\mathcal{E}_{eqv}^{pl}$  بحرانی به منظور پیش‌بینی ترک و شکست در قاب‌های مهاربندی همگرا فولادی ارائه شد. این معیار مقدار  $\mathcal{E}_{eqv}^{pl}$  را برای شروع شکست در وسط مهاربند برابر ۰/۲۷۱ و در قسمت



شکل (۴): (الف، ب و ج) نمونه آزمایشگاهی [۱۴]، د، ه و و) نمونه‌های عددی

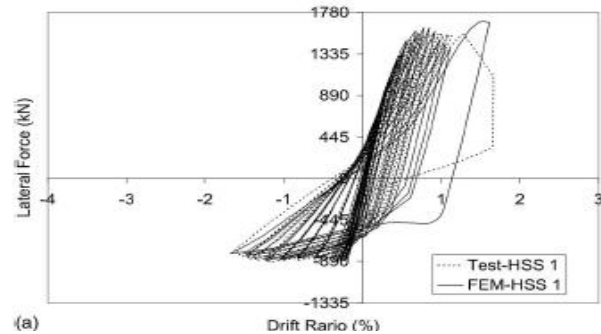
با توجه به موارد عنوان شده در بالا و تطابق نتایج، درستی شبیه‌سازی تأیید می‌شود.

#### ۵- جزئیات نمونه‌ها

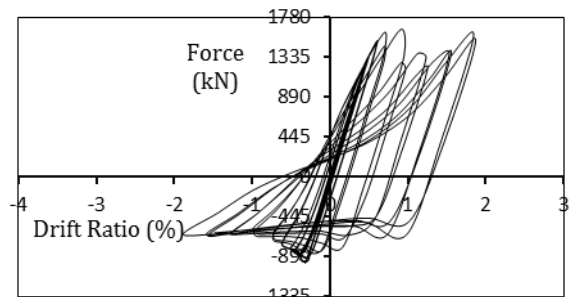
مشخصات نمونه‌های در نظر گرفته شده در این تحقیق در جدول (۱) آورده شده است. دسته اول نمونه‌ها شامل ورق اتصال مستطیلی با ضخامت ۱۲ میلی‌متر بود. در این دسته نمونه‌ای که در آن فاصله  $2t_p$  خطی رعایت شده بود به عنوان بیش‌ترین فاصله آزاد انتهایی مهاربند و نمونه‌ای که مهاربند تا حد امکان به تیر و ستون نزدیک شده بود به عنوان کم‌ترین فاصله آزاد در نظر گرفته شد (شکل ۵-الف). فواصل بین این نمونه‌ها بطور مناسب با نمونه‌هایی با فاصله‌های انتهایی آزاد مختلف شبیه‌سازی شدند. بطور مثال نمونه R12W-2T65 معرف نمونه ورق اتصال مستطیلی<sup>۳</sup>، با ضخامت ورق اتصال ۱۲ میلی‌متر و فاصله آزاد انتهایی آن ۶۵ سانتی‌متر از انتهای مهاربند تا مرکز همگرایی است.

برای داشتن درک بهتری از اثر فاصله آزاد انتهایی، در دسته دوم نمونه‌هایی که در آنها ضخامت ورق اتصال متفاوت بود طراحی و مورد تحلیل قرار گرفت. آیین‌نامه‌های لرزه‌ای لازم می‌دانند که اتصال برای مقاومت فشاری نیز طراحی شوند و طبیعتاً با افزایش فاصله آزاد در ورق اتصال طول ناحیه مهار

شکل (۳-الف و ۳-ب) بترتیب نمودار هیستریزس بدست آمده از آزمایشات و تحلیل‌های یو و لمن و حاصل از تحلیل با نرم‌افزار المان محدود در مطالعه حاضر را نشان می‌دهد. نمونه عددی ساخته شده در نرم‌افزار آباکوس بصورت مناسبی با اختلاف حداکثر ۱۰٪ در فشار و کشش رفتار این نمونه را پیش‌بینی نمود. همان‌طور که در شکل (۴-الف، ب، د و ه) دیده می‌شود نمونه عددی که در این مطالعه برای اعتبارسنجی ساخته شده بود حالت کمانش در میانه عضو مهار، حالت کمانش در ورق اتصال و همچنین گسترش تنش در این قسمت را با دقت بسیار خوبی پیش‌بینی نمود. شکل (۴-ج و ۴-و) به ترتیب حالت نهایی نمونه‌های آزمایشگاهی و همچنین نمونه‌ی ساخته شده در این مطالعه در انتهای بارگذاری را نشان می‌دهد.

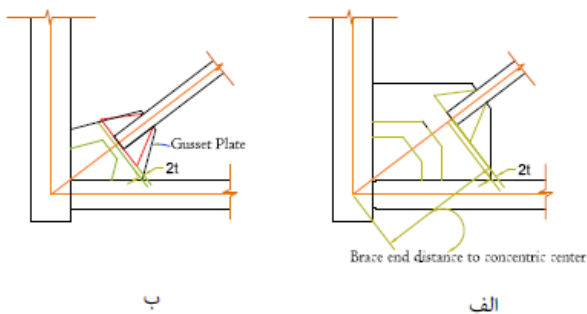


الف



ب

شکل (۳): نمودارهای هیستریزس نمونه‌ها. الف) نمونه آزمایشگاهی یو [۱۶]. ب) شبیه‌سازی عددی آباکوس



نشده در ورق اتصال افزایش یافته و در نتیجه برای ارضای رابطه مقاومت فشاری، استفاده از ورق اتصال با ضخامت بیشتر لازم است.

در دسته سوم نمونه‌ها برای کاهش ابعاد ورق اتصال، از ورق باریک شده استفاده شد. به عنوان مثال نمونه با مشخصات T12NC-W38 معرف نمونه‌ای با فاصله آزاد انتهایی ۳۸ سانتی متر از انتهای مهاربند تا مرکز همگرایی، با ضخامت ورق اتصال ۱۲ میلی‌متر و ورق اتصال باریک شده<sup>۴</sup> است (شکل (۵-ب)).

شکل (۵): فاصله آزاد در ورق اتصال

جدول (۱): مشخصات نمونه‌ها

ضخامت ورق اتصال (میلی‌متر)	اندازه ورق اتصال (میلی‌متر)	ورق اتصال	طول بادبند (متر)	فاصله آزاد انتهایی (انتهای بادبند تا مرکز) (سانتی‌متر)	نمونه‌ها	ضخامت ثابت ورق اتصال	نمونه‌ها با ورق‌های اتصال مستطیلی
۱۲	۳۷۲×۳۲۷	مستطیلی	۴/۷۱	۲۸	R12NC28		
۱۲	۴۵۴×۳۸۳	مستطیلی	۴/۵۲	۳۸	R12NC-W38		
۱۲	۵۲۲×۴۴۲	مستطیلی	۴/۳۲	۴۷	R12W47		
۱۲	۶۰۷×۴۹۶	مستطیلی	۴/۱۵	۵۶	R12W-2T56		
۱۲	۶۸۱×۵۵۳	مستطیلی	۳/۹۶	۶۵	R12W-2T65		
۱۲	۷۵۵×۶۰۹	مستطیلی	۳/۷۷	۷۵	R12W-2T75		
۱۲	۸۲۹×۶۶۵	مستطیلی	۳/۵۹	۸۴	R12W-2T84		
۱۳	۸۹۳×۷۲۵	مستطیلی	۳/۴	۹۴	R12-2T94		
۱۰	۳۷۲×۳۲۷	مستطیلی	۴/۷۱	۲۸	R10NC28	ضخامت متغیر ورق اتصال	نمونه‌ها با ورق‌های اتصال مستطیلی
۱۰	۴۵۴×۳۸۳	مستطیلی	۴/۵۲	۳۸	R10NC-W38		
۱۲	۵۲۲×۴۴۲	مستطیلی	۴/۳۲	۴۷	R12W47		
۱۴	۶۰۷×۴۹۶	مستطیلی	۴/۱۵	۵۶	R14W-2T56		
۱۶	۶۸۱×۵۵۳	مستطیلی	۳/۹۶	۶۵	R16W-2T65		
۱۸	۷۵۵×۶۰۹	مستطیلی	۳/۷۷	۷۵	R18W-2T75		
۲۰	۸۲۹×۶۶۵	مستطیلی	۳/۵۹	۸۴	R20W-2T84		
۲۲	۸۹۳×۷۲۵	مستطیلی	۳/۴	۹۴	R22-2T94		
۱۲	۳۰۷×۲۳۷	باریک شده	۴/۷۲	۲۸	T12NC28	نمونه‌ها با ورق اتصال باریک شده	نمونه‌ها با ورق اتصال باریک شده
۱۲	۳۶۵×۲۷۳	باریک شده	۴/۵۵	۳۷	T12NC-W37		
۱۲	۴۳۰×۳۱۴	باریک شده	۴/۳۳	۴۷	T12W47		
۱۲	۴۷۹×۳۴۳	باریک شده	۴/۱۸	۵۵	T12W-2T55		
۱۲	۵۳۸×۳۸۱	باریک شده	۳/۹۹	۶۴	T12-2T64		

۶- نتایج

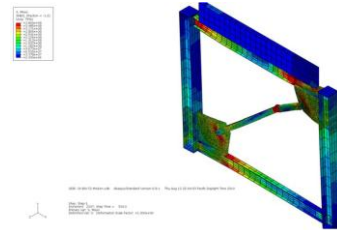
۶-۱ رفتار کلی نمونه‌ها

شکل (۷) مقایسه بین پوش نمودارهای هیستریزیس نمونه‌ها را نشان می‌دهد که در آن‌ها باتوجه به معیارهای شکست عنوان شده، حد نهایی شکل‌پذیری نمونه‌ها مشخص و نمودارها در آن نقاط قطع شده‌اند.

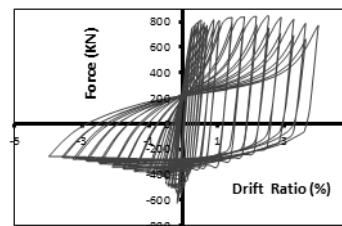
بطور کلی بزرگ‌تر شدن ورق اتصال، باعث کمتر شدن طول مهاربند شده و این باعث می‌شود مقاومت فشاری نیز بطور نسبی با وجود بزرگ‌تر شدن ورق اتصال و بیشتر شدن فاصله آزاد انتهایی مهاربند، در نمونه‌های با ورق اتصال مستطیلی و ضخامت ثابت، بیشتر شود. در این سری نمونه‌ای که در آن‌ها فاصله آزاد  $2t_p$  رعایت شده بود بیشترین مقاومت را داشت. این نمونه مقاومت کششی و فشاری قاب بترتیب تا ۱۱ و ۱۵ درصد افزایش یابد. با بزرگ‌تر شدن ورق اتصال عرض و ایت‌مور اجازه می‌یابد که بیشتر در ورق اتصال ادامه یابد و در پایان عرض بیشتری داشته باشد، که این باعث افزایش مقاومت کششی می‌شود.

با افزایش فاصله آزاد انتهایی مهاربند، از کماتش لبه‌های ورق اتصال کاسته می‌شود (شکل (۸- الف و ب)). در نمونه‌ای که در آن هیچ فاصله آزاد انتهایی رعایت نشده بود تنش‌های پلاستیک به طور تقریب در تمام ورق اتصال گسترش می‌یافت ولی در نمونه‌هایی که در آن‌ها فاصله آزاد انتهایی رعایت شده بود کرنش‌های پلاستیک در نوار مشخصی در ورق اتصال گسترش می‌یافت و از تشدید آن در ورق اتصال کاسته می‌شد.

در شکل (۶) نمونه‌ای از نمودار هیستریزیس و شکل نهایی حاصل از تحلیل نرم‌افزاری آورده شده است. در جدول (۲) خلاصه نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌ها آورده شده است.



الف



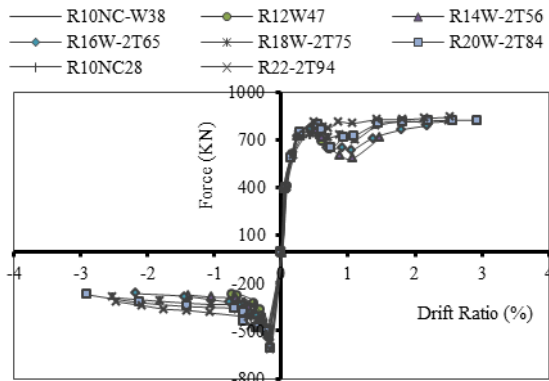
ب

شکل (۶): نمودار هیستریزیس و تغییر شکل نهایی حاصل از تحلیل  
نمونه R22-2T94

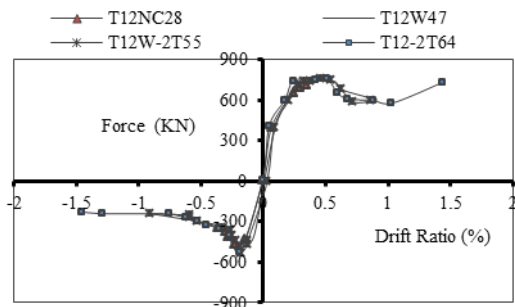
جدول (۲): نتایج بدست آمده از تحلیل‌ها

ظرفیت شکل پذیری ( $\mu C$ )	جابجایی نسبی قبل از شکست قاب	مد شکست حاکم	درصد جابجایی نسبی قبل از شکست در گوشه مهاربند	تعداد سیکل‌های قبل از شکست در گوشه مهاربند	درصد جابجایی نسبی قبل از شکست در مهاربند	تعداد سیکل‌های قبل از شکست در مهاربند	مقاومت فشاری (KN)	مقاومت کششی (KN)	نمونه‌ها	نمونه‌ها با ورق‌های اتصال مستطیلی
۱/۵۲	۰/۵۵	گوشه ورق اتصال	۰/۵۵	۱۷	۳/۲۸	۳۸	۵۰۸	۷۴۱	R10NC28	ضخامت ثابت ورق اتصال
۲/۵۱	۰/۹۱	گوشه ورق اتصال	۰/۹۱	۲۳	۲/۹	۳۶	۵۲۰	۷۵۰	R10NC-W38	
۳/۰۳	۱/۱	گوشه ورق اتصال	۱/۱	۲۵	۲/۹	۳۶	۴۷۹	۷۵۳	R12W47	
۴/۰۰	۱/۴۵	گوشه ورق اتصال	۱/۴۵	۲۸	۲/۹	۳۶	۵۲۰	۷۶۶	R14W-2T56	
۶/۰۱	۲/۱۸	گوشه ورق اتصال	۲/۱۸	۳۱	۲/۵۵	۳۴	۵۳۲	۷۷۳	R16W-2T65	
۷/۰۳	۲/۵۵	گوشه ورق اتصال	۲/۵۵	۳۳	۲/۵۵	۳۴	۵۵۳	۸۰۴	R18W-2T75	
۸/۰۰	۲/۹	میانه مهاربند	۲/۹	۳۵	۲/۹	۳۵	۵۳۶	۸۱۲	R20W-2T84	
۸/۰۰	۲/۹	میانه مهاربند	۲/۹	۳۶	۲/۹	۳۵	۵۵۰	۸۲۱	R22-2T94	
۱/۵۲	۰/۵۵	گوشه ورق اتصال	۰/۵۵	۱۹	۳/۶۴	۴۰	۵۱۹	۷۵۲	R10NC28	ضخامت متغییر ورق
۲/۰۱	۰/۷۳	گوشه ورق اتصال	۰/۷۳	۲۳	۴/۱	۴۱	۴۹۸	۷۳۶	R10NC-W38	
۳/۰۳	۱/۱	گوشه ورق اتصال	۱/۱	۲۵	۲/۹	۳۶	۴۷۹	۷۵۳	R12W47	
۴	۱/۴۵	گوشه ورق اتصال	۱/۴۵	۳۱	۲/۹	۳۵	۵۰۱	۷۶۸	R14W-2T56	
۶/۰۱	۲/۱۸	گوشه ورق اتصال	۲/۱۸	۳۲	۳/۲۸	۳۷	۵۵۶	۷۹۹	R16W-2T65	
۷/۰۳	۲/۵۵	گوشه ورق اتصال	۲/۵۵	۳۴	۲/۹	۳۵	۵۵۸	۸۱۳	R18W-2T75	
۷/۰۳	۲/۵۵	میانه مهاربند	۳/۶۴	۳۷	۲/۵۵	۳۳	۵۹۹	۸۲۷	R20W-2T84	

۶/۰۱	۲/۱۸	میانمه مهاربند	۳/۶۴	۳۸	۲/۱۸	۳۱	۶۱۸	۸۴۰	R22-2T94	
۱/۲۴	۰/۴۵	گوشه ورق اتصال	۰/۴۵	۱۶	۱/۸۲	۲۹	۴۶۷	۷۰۶	T12NC28	نمونه ها با ورق
۱/۵۲	۰/۵۵	گوشه ورق اتصال	۰/۵۵	۱۸	۲/۱۸	۳۱	۵۱۰	۷۳۱	T12NC-W37	
۳/۰۳	۱/۱	گوشه ورق اتصال	۱/۱	۲۵	۲/۹	۳۶	۴۷۳	۷۴۱	T12W47	اتصال
۳/۰۳	۱/۱	گوشه ورق اتصال	۱/۱	۲۶	۲/۱۸	۳۱	۵۲۴	۷۶۰	T12W-2T55	
۴	۱/۴۵	میانمه مهاربند	۱/۴۵	۳۰	۱/۴۵	۲۸	۵۲۹	۷۷۳	T12-2T64	باریک

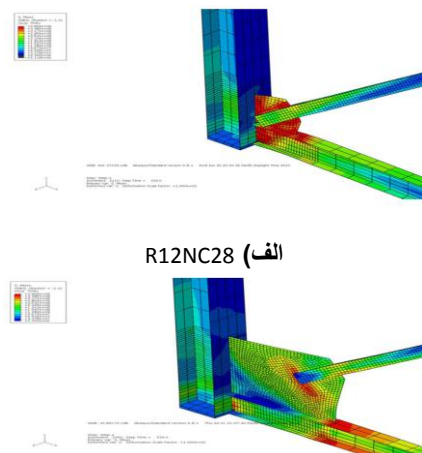


ب) ورق های اتصال مستطیلی با ضخامت متغیر



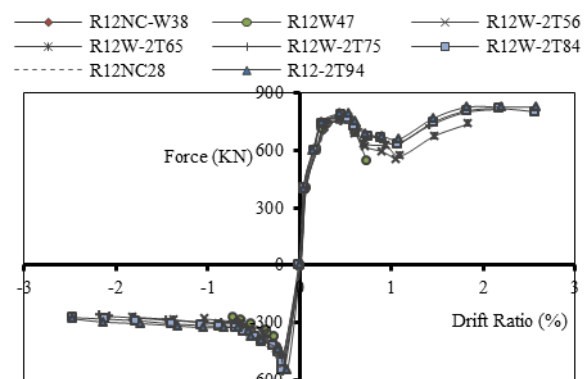
ج) ورق های اتصال باریک شده

شکل (۷): مقایسه پوش نمودارهای هیستریزیس نمونه ها



ب) R12-2T94

در سری دوم نمونه ها که دارای ورق اتصال مستطیلی و ضخامت متغیر بودند، مقاومت فشاری نمونه ها بطور محسوس نسبت به نمونه های با ضخامت ثابت، افزایش می یافت. این افزایش تا ۲۹ درصد بود. همچنین نسبت به نمونه های قبلی نیز مقاومت فشاری تا ۱۴ درصد در نمونه های مشابه، با توجه به افزایش ضخامت ورق اتصال، افزایش می یافت. مقاومت کششی نیز با افزایش اندازه ورق اتصال تا ۱۲ درصد افزایش می یافت. ولی این افزایش در این سری نمونه ها چشمگیرتر از نمونه ها با ضخامت ثابت بود. در این سری نمونه ها نیز مانند نمونه های با ضخامت ثابت ورق اتصال با افزایش فاصله آزاد انتهایی مهاربند، از کماتش لبه های ورق اتصال کاسته می شد. تفاوت این سری با سری قبل در اعمال تنش های بیشتر به تیر به علت افزایش ضخامت ورق اتصال نسبت به نمونه های قبل بود (شکل ۸-ج)). اثر فاصله آزاد انتهایی در ورق های اتصال باریک شده نیز مورد بررسی قرار گرفت. همه ی ورق های اتصال به صورت باریک شده با شیب ۱۵° نسبت به افق و قائم بودند. با افزایش فاصله آزاد انتهایی مهاربند، مقاومت فشاری و کششی نیز افزایش می یافت، تا ۳ درصد در کشش و تا ۱۰ درصد در فشار. در این سری از نمونه ها نیز مانند نمونه های قبلی با افزایش فاصله آزاد انتهایی از تمرکز تنش در قسمت ورق اتصال کاسته شده و مفصل پلاستیک در هنگام کماتش خارج از صفحه مهاربند در این قسمت راحت تر تشکیل می شد (شکل ۸-د)).

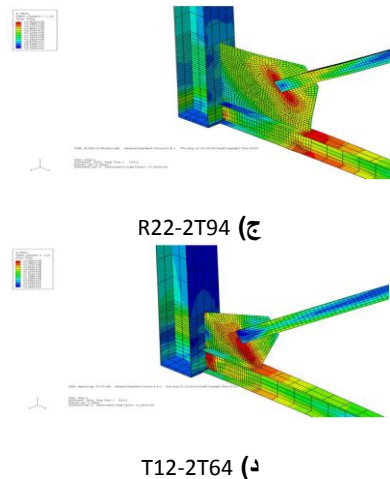
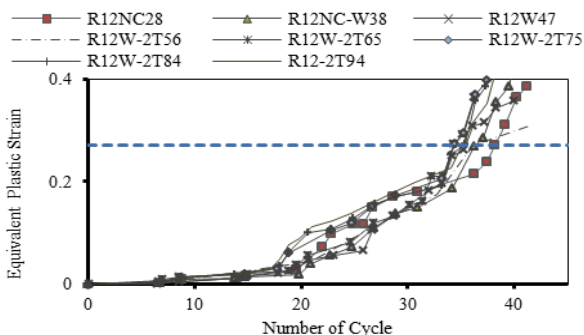


الف) ورق های اتصال مستطیلی با ضخامت ثابت



مهاربند قبل از خرابی تحمل می‌نماید ۳/۲۸ درصد برای نمونه R12NC28 بود. نمونه‌ای که فاصله آزاد در  $2t_p$  در آن رعایت شده بود، ۲/۹ درصد جابجایی نسبی را قبل از خرابی در این قسمت تحمل نمود.

در سری نمونه‌ها با ورق اتصال مستطیلی و ضخامت متغیر ورق اتصال نیز همانند نمونه‌های سری قبلی با افزایش فاصله آزاد انتهایی، مهاربند راحت‌تر در جهت کمانش خارج از صفحه کمانش می‌نماید و این باعث می‌شود که از تمرکز کرنش معادل پلاستیک در قسمت جوش اتصال ورق اتصال به تیر کاسته شود (شکل ۱۰-ب). نمونه‌ای که  $2t_p$  در آن رعایت شده در قسمت جوش تا ۳۸ دوره و ۳/۶۴ درصد جابجایی نسبی را تا قبل از خرابی در این قسمت تحمل می‌نماید، که بیشتر از نمونه مشابه سری قبل بود. دلیل این موضوع افزایش ضخامت ورق اتصال است. ولی افزایش ضخامت و اندازه ورق اتصال باعث به وجود آمدن شرایط بسیار متفاوت نسبت به قبل در مرکز مهاربند می‌شود. با افزایش اندازه فاصله آزاد انتهایی مهاربند، تمرکز تنش پلاستیک در میانه مهاربند به شدت افزایش می‌یافت (شکل ۹-ب). در نمونه‌های R22-2T94 و R20W-2T84 خرابی حاکم شکست در میانه مهاربند در اثر تمرکز تنش و کرنش بود. این در حالی بود که نمونه‌های R20W-2T84 و R18-2T75 بهترین عملکرد را در این سری از نمونه‌ها دارد و تا ۲/۹ درصد جابجایی نسبی را تحمل می‌نمود. با این تفاوت که خرابی حاکم در نمونه R18-2T75 شکست جوش در قسمت ورق اتصال بود. نمونه R16-2T65 که ورق اتصال آن کوچک‌تر از نمونه R22-2T94 بود، عملکردی شبیه آن دارد و تا ۲/۱۸ درصد جابجایی نسبی را تحمل می‌نمود. با توجه به کوچک‌تر بودن ورق‌های اتصال و عملکرد مشابه نمونه R16-2T65 به نظر می‌رسد این نمونه از نظر اقتصادی و این که صلبیت اتصال را کم می‌نماید مناسب‌تر باشد. در این سری نمونه‌ها نیز نمونه‌هایی که فاصله آزاد انتهایی مهاربند در ورق اتصال آن‌ها کمتر از نمونه طراحی شده بر اساس ضوابط آیین‌نامه‌های کنونی است، عملکرد بهتری با توجه به کوچک‌تر و اقتصادی‌تر بودن ورق اتصال از خود نشان می‌دهند.



شکل (۸): حالت نهایی نمونه‌ها

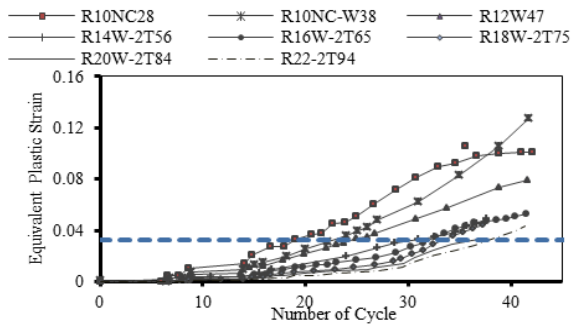
## ۶-۲- شکست در نواحی بحرانی

نمودار رشد کرنش‌های معادل پلاستیک در میانه مهاربند و گوشه ورق اتصال برای تمامی نمونه‌ها در شکل‌های (۹ و ۱۰) آورده شده است.

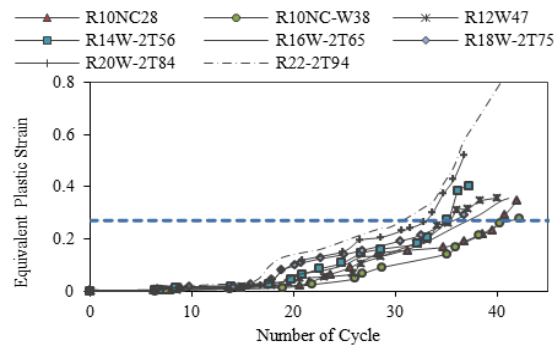
همان‌طور که از ضوابط آیین‌نامه انتظار می‌رفت در نمونه‌های با ورق اتصال مستطیلی و ضخامت ثابت، با افزایش اندازه ورق اتصال و بیشتر شدن فاصله آزاد انتهایی از توسعه کرنش معادل پلاستیک در قسمت اتصال ورق اتصال به تیر و ستون کاسته می‌شد. ولی همان‌طور که در جدول (۲) دیده می‌شود لزوماً نمونه‌ای که فاصله  $2t_p$  خطی در آن رعایت شده بهترین عملکرد را ندارد. فاصله انتهایی مهاربند این نمونه تا مرکز همگرایی برابر با ۹۴ سانتی‌متر بود و تا ۳۵ دوره و جابجایی نسبی ۲/۹ درصد را قبل از خرابی تحمل می‌نمود. این در حالی بود که نمونه‌ی R12-W2T84 که فاصله انتهایی مهاربند آن تا مرکز همگرایی ۸۴ سانتی‌متر بود نیز همین مقدار دوره و جابجایی را تحمل می‌نمود. حتی نمونه‌ی R12W-2T75 که فاصله آزاد انتهایی آن تا مرکز همگرایی ۷۵ سانتی‌متر بود تنها دو دوره کمتر و ۲/۵۵ درصد جابجایی نسبی را تحمل می‌نمود. این موضوع بهینه بودن رفتار نمونه‌ای که توسط آیین‌نامه پیشنهاد می‌شود را مورد تردید قرار می‌دهد.

به هر حال تمام خرابی‌های حاکم در تمامی نمونه‌ها با ورق اتصال مستطیلی و ضخامت ثابت، به جز نمونه R12-2T94 شکست در قسمت جوش ورق اتصال به تیر بود. کرنش معادل پلاستیک در این ناحیه با افزایش فاصله آزاد انتهایی کاهش می‌یافت (شکل ۱۰-الف). از طرفی کرنش معادل پلاستیک در مرکز مهاربند با افزایش فاصله آزاد انتهایی افزایش می‌یابد (شکل ۹-الف). خرابی حاکم در نمونه R12-2T94 در قسمت میانه مهاربند بود. بیشترین جابجایی نسبی که این نمونه‌ها در وسط

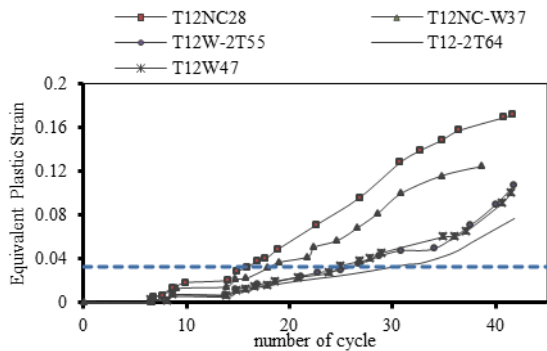
الف) ورق‌های اتصال مستطیلی با ضخامت ثابت



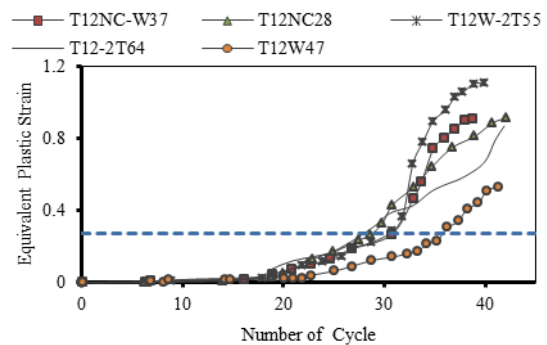
الف) در ورق‌های اتصال مستطیلی با ضخامت ثابت



ب) در ورق‌های اتصال مستطیلی با ضخامت متغیر



ب) ورق‌های اتصال مستطیلی با ضخامت متغیر



ج) ورق‌های اتصال باریک شده

شکل (۱۰): نمودارهای کرنش معادل پلاستیک در گوشه ورق اتصال برای نمونه‌ها

ج) ورق‌های اتصال باریک شده

شکل (۹): نمودارهای کرنش معادل پلاستیک در میانه مهاربند برای نمونه‌ها

### ۶-۳- ظرفیت شکل‌پذیری نمونه‌ها

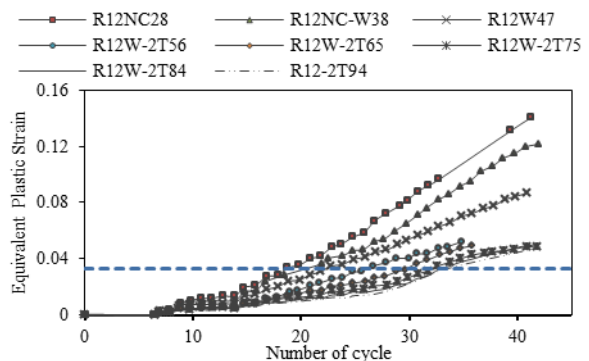
برای داشتن مقایسه کلی و بهتر بین نمونه‌های هر سری، از مفهوم ظرفیت شکل‌پذیری ( $\mu_c$ ) استفاده شد. فرمول زیر برای محاسبه ظرفیت شکل‌پذیری به کار گرفته شد:

$$\mu_c = \frac{\Delta_c}{\Delta_y} \quad (2)$$

که در آن  $\Delta_c$  برابر ظرفیت جابجایی قاب قبل از وقوع شکست و  $\Delta_y$  برابر با جابجایی جاری شدگی یا جابجایی است که قاب وارد رفتار پلاستیک می‌شود.  $\Delta_y$  برابر با جابجایی نسبی تئوری که در آن انتظار می‌رفت قاب وارد رفتار پلاستیک شود در نظر گرفته شد. این همان جابجایی نسبی بود که در اعمال پروتکل بارگذاری به عنوان حد جاری‌شدگی در نظر گرفته شد. با بدست آوردن ظرفیت شکل‌پذیری برای هر نمونه، نمونه‌های هر سری از نظر شکل‌پذیری با یکدیگر مقایسه شدند. در شکل (۱۱) نمودار ظرفیت شکل‌پذیری ( $\mu_c$ ) برای این سری از نمونه‌ها بر اساس فاصله آزاد انتهایی مهاربند رسم شده است.

همان‌طور که دیده می‌شود در نمونه‌ها با ورق اتصال مستطیلی و ضخامت ثابت، با افزایش فاصله آزاد انتهایی مهاربند

در سری نمونه‌ها با ورق اتصال باریک شده، به جز نمونه‌ای که در آن فاصله آزاد  $2t_p$  رعایت شده بود، در همه‌ی نمونه‌ها خرابی‌های حاکم در جوش ورق اتصال به تیر بود (شکل ۱۰-ج). با افزایش فاصله آزاد انتهایی مهاربند، جابجایی نسبی قبل از خرابی از ۰/۴۵ درصد تا ۱/۸ درصد افزایش می‌یافت. نمونه‌ای که فاصله‌ی آزاد  $2t_p$  در آن رعایت شده حداقل ۲ دوره بیشتر از بقیه‌ی نمونه‌ها قبل از شکست را تحمل می‌نماید. همچنین در میانه مهاربند نیز با کاهش طول مهاربند و افزایش اندازه ورق اتصال، تمرکز کرنش معادل پلاستیک افزایش می‌یافت (شکل ۹-ج)).



## ۷- نتیجه‌گیری

برای بررسی اثر فاصله آزاد انتهایی مهاربندهای فولادی بر روی شکل‌پذیری قاب‌های فولادی مهاربندی شده، سه دسته نمونه تحلیل شدند.

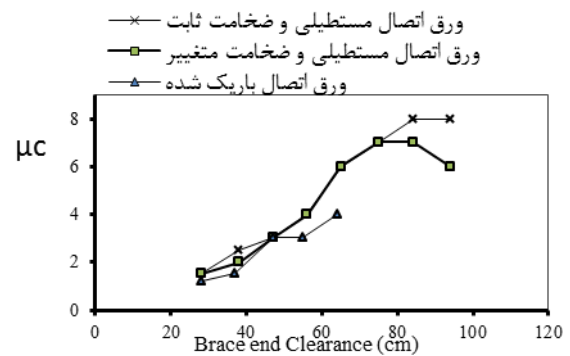
در نمونه‌های با ضخامت ثابت ورق اتصال، به جز در نمونه‌ای که فاصله آزاد  $2t_p$  در آن رعایت شده بود، خرابی حاکم در قسمت جوش ورق اتصال بود. با افزایش فاصله بین انتهای مهاربند و مرکز تقاطع تیر و ستون، تمرکز کرنش پلاستیک در مرکز مهاربند افزایش می‌یافت. ظرفیت شکل‌پذیری در این نمونه‌ها با افزایش فاصله آزاد انتهایی مهاربند تا عدد ۸ افزایش می‌یافت. ولی حداکثر ظرفیت شکل‌پذیری در فاصله‌ای کمتر از فاصله‌ای که در آن  $2t_p$  رعایت شده بود اتفاق می‌افتاد.

در نمونه‌هایی که با افزایش فاصله آزاد انتهایی مهاربند، ضخامت نیز افزایش می‌یابد خرابی حاکم در فواصل نزدیک  $2t_p$  خطی، در مرکز مهاربند بود. فواصل آزاد کمتر از  $2t_p$  خطی، با وجود کوچکتر بودن ورق اتصال و ایجاد صلبیت کمتر در قسمت اتصال بهترین رفتار شکل‌پذیری را نشان دادند (تا  $0/4$  درصد جابجایی نسبی بیشتر). عدد ظرفیت شکل‌پذیری در این نمونه‌ها نیز با افزایش فاصله آزاد انتهایی مهاربند، تا این نمونه افزایش می‌یافت (عدد ۷) ولی در نمونه‌ای که فاصله آزاد  $2t_p$  در آن رعایت شده بود، کاهش یافت (عدد ۶).

در دسته نمونه‌های با ورق اتصال باریک شده که ضخامت ورق اتصال در آنها ثابت بود، با افزایش فاصله آزاد انتهایی، عملکرد لرزه‌ای قاب نیز بهبود می‌یافت. به نظر می‌رسد در قاب‌هایی که دارای ورق اتصال باریک شده هستند فاصله آزاد  $2t_p$  بهترین عملکرد را دارد.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد فاصله آزاد انتهایی  $2t_p$  خطی عمود بر محور مهاربند، لزوماً بهترین رفتار را ندارد و با وجود اینکه از تمرکز تنش و کرنش پلاستیک در گوشه ورق اتصال می‌کاهد، ولی باعث اعمال کرنش پلاستیک بیشتر در قسمت میانه مهاربند می‌شود. از طرفی دیده می‌شود که کرنش معادل پلاستیک در مرکز مهاربند با طول مهاربند رابطه عکس دارد و افزایش فاصله آزاد انتهایی مهاربند موجب کاهش طول مهاربند می‌شود. در مجموع این نتایج نشان دهنده پیشنهادهایی از قبیل یو و همکاران در رعایت فاصله آزاد از یک مرز بیضوی در انتهای مهاربند است.

ظرفیت شکل‌پذیری نمونه‌ها نیز افزایش می‌یافت. نرخ افزایش ظرفیت شکل‌پذیری در ابتدا زیاد بود، ولی با افزایش فاصله آزاد انتهایی از سرعت افزایش آن کاسته می‌شد و حتی در انتهای نمودار این افزایش به صفر می‌رسید. برای این نمونه‌ها ظرفیت شکل‌پذیری از  $1/5$  شروع شده و تا ۸ ادامه می‌یافت. سه نمونه‌ای که فاصله آزاد انتهایی آن‌ها کمتر از ۴۷ سانتی‌متر بود، ظرفیت شکل‌پذیری کمتر از ۳ دارند. برای بقیه نمونه‌ها ظرفیت شکل‌پذیری از ۴ بالاتر بود که حد شکل‌پذیری خوبی بشمار می‌رود.



شکل (۱۱): نمودار ظرفیت شکل‌پذیری برای نمونه‌ها

در دسته نمونه‌ها با ورق اتصال مستطیلی و ضخامت متغییر ورق اتصال مانند دسته اول نمونه‌ها در ابتدا با افزایش فاصله آزاد انتهایی به ظرفیت شکل‌پذیری قاب‌ها افزوده می‌شد. ولی این افزایش تا حدی ادامه می‌یافت و بعد از آن از ظرفیت شکل‌پذیری نمونه‌ها کاسته می‌شد. ظرفیت شکل‌پذیری برای این نمونه‌ها از حدود  $1/5$  شروع شده و برای نمونه‌های R18- و R20W-2T84 و 2T75 به عدد ۷ هم می‌رسد. نمونه‌هایی که فاصله آزاد انتهایی آن‌ها کمتر از ۴۷ سانتی‌متر بود، ظرفیت شکل‌پذیری آن‌ها کمتر از ۳ بود. در بقیه نمونه‌ها ظرفیت شکل‌پذیری بیشتر از عدد ۴ بود. ظرفیت شکل‌پذیری برای نمونه با رعایت فاصله آزاد  $2t_p$  برابر با عدد ۶ بود.

در ورق‌های اتصال باریک شده نیز با افزایش فاصله آزاد انتهایی ظرفیت شکل‌پذیری افزایش می‌یافت. برای نمونه‌ای که هیچ فاصله آزادی در انتهای آن وجود نداشت و کوچک‌ترین ورق اتصال را در بین همه نمونه‌ها داشت، ظرفیت شکل‌پذیری عدد ۱ بود و در عمل این نمونه رفتار غیرشکل‌پذیر از خود نشان داد. این در حالی بود که نمونه‌ی R12-2T64 که در ورق اتصال آن، فاصله آزاد  $2t_p$  رعایت شده بود، ظرفیت شکل‌پذیری برابر ۴ از خود نشان داد. در بقیه نمونه‌ها ظرفیت شکل‌پذیری کمتر از  $2/5$  بود، که شکل‌پذیری خوبی بشمار نمی‌آید.

## ۸- مراجع

- [۱۰] El-Tawil, s., Mikesell, t., Vidarsson, E., and Kunnath, S. K., Strength and ductility of FR welded-bolted connections, SAC/BD-98/01, Editor. SAC Joint Venture: Sacramento, CA, 1998.
- [۱۱] Ferreira, J. and C.A. Castiglioni, Calado, L., Rosaria, and Agatino, M., , Low cyclic fatigue strength assessment of cryciform welded joints. Journal of Constructional Steel Research 47(3): p. 223-224, 1998.
- [۱۲] Kanvinde, A.M., and Deierlein, G. G. Continuum based micro-models for ultra low cycle fatigue crack initiation in steel structures. in Structures Congress and Exposition, ASCE. Reston Va, 2005.
- [۱۳] Lee, K., and Bruneau, M, Energy Dissipation of Compression Members in Concentrically Braced Frames: Review of Experimental Data. ASCE Journal of Structural Engineering. 131(4): p. 552-559, 2005.
- [۱۴] Lehman, D.E. and C.W. Roeder, Herman D., Johnson S., and Kotulka B., Improved seismic performance of gusset plate connections. ASCE Journal of Structural Engineering 134:6: p. 890-901, 2008.
- [۱۵] Rabinovitch, J.a.C.J.J.R., Cyclic Behavior of Steel Gusset Plate Connections. Structural Engineering Report No. 191. Edmonton, Alberta : University of Alberta Department of Civil and Environmental Engineering, 1993.
- [۱۶] Yoo, J.-H., C.W. Roeder, and D.E. Lehman, Analytical Performance Simulation of Special Concentrically Braced Frames. JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING © ASCE, 2008: p. 881-889, 2008.
- [۱۷] Yoo, J.H., Lehman, D. E. and Roeder C. W., Influence of connection design parameters on the seismic performance of braced frames. Journal of Constructional Steel Research. 64: p. 607-623, 2007.
- [۱] علی پور، آزاده؛ میر قادری، رسول؛ بررسی عملکرد لرزه‌ای اتصالات قاب‌های مهاربند ویژه با صفحه ناهمراستای گاست پلیت و جان ستون؛ پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۱۳۸۵.
- [۲] حسینی هاشمی، بهرخ؛ مهیار، آرش؛ مستقیمی، نسرين؛ بررسی رفتار شکل‌پذیر مهاربندهای همگرا؛ اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیر ساختها، ۱۳۸۸.
- [۳] قلمی فرد، آرش؛ آقاچوچک، علی اکبر؛ تحلیل غیر خطی رفتار ورق‌های اتصال و مهاربندی فولادی همگرا تحت اثر بار چرخه‌ای، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۳۸۶.
- [۴] مبحث دهم مقررات ملی ساختمان؛ طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی. تهران: وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۸۷.
- [۵] میرقادری، رسول؛ وفایی، بهروز؛ بررسی رفتار لرزه ای قابهای مهاربندی شده با بادبندهای همگرا X- شکل، سومین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۳۸۶.
- [۶] AISC, American Institute of Steel Construction, in Seismic Provisions for structural steel buildings: Chicago, 2005.
- [۷] Astaneh-Asl, A., Goel, S., and Hanson, R. D, Cyclic out-of-plane buckling of double angle bracing. ASCE Journal of Structural Engineering. 111(5): p. 1135-1153, 1985.
- [۸] Astaneh-asl, A., Seismic design and behavior of gusset plates., Structural Steel And Educational Council {Steel Tips}: 209 Vernal Drive, Alamo CA, 1998.
- [۹] ATC24, Guidline for cyclic seismic testing of components of steel structures. Applied Technology Council, 1992.

## ۹- پی نوشت ها

---

<sup>۱</sup> Abaqus

<sup>۲</sup> Low Cycle Fatigue

<sup>۳</sup> Rectangular

<sup>۴</sup> Tapered