

## یادداشت تحقیقاتی

# ارزیابی تأثیر اتصالات میانی جدید بر عملکرد فشاری مهاربندهای ضربدری

موسی محمودی صاحبی<sup>۱\*</sup>، علیرضا شیرپور<sup>۲</sup>، آرش زارع زاده مهریزی<sup>۳</sup>

- ۱- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
- ۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران سازه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
- ۳- کارشناسی ارشد مهندسی عمران سازه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

\*m.mahmoudi@srttu.edu

تاریخ پذیرش: [۹۶/۱۰/۰۹]

تاریخ دریافت: [۹۵/۱۰/۰۵]

## چکیده

استفاده از مهاربند ضربدری نقش تعیین کننده‌ای در پایداری سازه‌ها در مقابل بارهای جانبی ناشی از زلزله و باد دارد. بدیهی است اتصالات در ایفای نقش فوق اهمیت زیادی دارد. هدف این مقاله ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصالات فلنجی و همچنین پانل برشی شکل پذیر به عنوان اتصالات میانی در مهاربندهای ضربدری است. برای این منظور با تحلیل عددی در محیط نرم افزار Abaqus، رفتار کمانشی، پس کمانشی و غیرخطی مهاربندهای ضربدری با اتصالات فوق بررسی، و با نتایج حاصل از اتصالات رایج مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد استفاده از پانل برشی شکل پذیر جاری شونده در اتصال میانی باعث اتلاف انرژی بیشتر توسط مهاربند ضربدری و عدم کمانش اعضای مهاربندی می‌شود، همچنین استفاده از مهاربند ضربدری با اتصال میانی فلنجی باعث هماهنگی کمانش اعضای مهاربندی و به تبعیت از آن باعث بهبود عملکرد فشاری مهاربند ضربدری می‌شود.

**واژگان کلیدی:** مهاربند ضربدری، ضریب طول مؤثر، کمانش و پس کمانش، اتصال فلنجی، پانل برشی شکل پذیر

## ۱- مقدمه

در مهاربندها اتفاق می‌افتد و تغییر مکان جانبی اتصال وسط افزایش خواهد یافت. در این حالت مهاربند کششی با تأمین سختی جانبی و پیچشی در محل اتصال وسط تا حدودی کمانش مهاربند فشاری را محدود می‌نماید. به عبارت دیگر؛ کمانش مود اول را کمانش محدود شده می‌نامند. در این مود و در صورت رعایت ضوابط لرزه‌ای در ورق اتصال انتهایی، مفصل پلاستیک در دو انتهای مهاربند و در فاصله‌ی 2t ورق

سازه‌ها در برابر زلزله‌های شدید به دلیل تغییر شکل‌های بزرگ در معرض آسیب‌های شدید قرار می‌گیرند. استفاده از مهاربند ضربدری در حفظ پایداری سازه، در لحظات حساس وقوع زلزله یا اعمال بارهای جانبی شدید دیگر، نقشی تعیین کننده دارد. در مهاربندهای ضربدری با رسیدن بار فشاری در مهاربند فشاری به بار بحرانی، کمانش کلی خارج از صفحه

محاسبه شد. داوران برای محاسبه ضریب طول مؤثر در حالت نیمه گیردار از یک فنر دورانی استفاده کرد و اثبات کرد هرچه سختی پیچشی در اتصال وسط مهاربند ضربدری بیشتر باشد ضریب طول مؤثر مهاربند بر اساس نسبت نیروی کششی به نیروی فشاری کاهش می‌یابد [4].

در سال ۲۰۰۳ ترمبلی و همکاران<sup>۴</sup> در مطالعه‌ای آزمایشگاهی به بررسی پاسخ لرزه‌ای مهاربندهای ضربدری با گیرداری کامل در اتصال میانی پرداختند و مشخص شد که با افزایش نیرو، کمانش موضعی خارج از صفحه در اعضای مهاربندی افزایش یافته و در آن عضو مفصل پلاستیک شکل می‌گیرد و با وارد آمدن کشش مرحله‌ای به سرعت شکست در آن قسمت رخ می‌دهد [5].

برای کاهش کمانش موضعی و ایجاد کمانش هماهنگ در اعضای منقطع مهاربند ضربدری داوران و هویدایی در سال ۲۰۰۸ اتصال جدیدی را در مهاربندهای ضربدری مطالعه و بررسی کردند که در این اتصال یکی از دو پروفیل هر یک از اعضای مهاربندی منقطع و پروفیل دیگر پیوسته است و به این نتیجه رسیدند که این اتصال جدید به دلیل پیوستگی بیشتر در اتصال میانی باعث کاهش ضریب طول مؤثر و در نتیجه افزایش بار بحرانی در مهاربند ضربدری می‌شود، همچنین با بررسی نمودار تغییر مکان برش پایه به این نتیجه رسیدند که این اتصال می‌تواند باعث افزایش ضریب رفتار مهاربند ضربدری شود [6].

در سال ۲۰۱۳ داوید جیانوزی و همکاران<sup>۵</sup> اتصال میانی جدیدی را در مهاربندهای ضربدری بررسی کردند که در این اتصال برای اتلاف انرژی از یک پانل برشی شکل‌پذیر جاری شونده‌ی مربع شکل استفاده شده است. در این پژوهش نشان داده شد که استفاده از این اتصال باعث تغییر شکل پلاستیک کافی بدون کمانش مهاربند و جذب بیشتر انرژی خواهد شد [7].

مقاله حاضر نتایج عددی پژوهش‌های انجام شده روی دو سیستم جدید مهاربند ضربدری با پانل برشی شکل‌پذیر جاری شونده<sup>۶</sup> که از یک مهاربند ضربدری با پانل برشی شکل‌پذیر در اتصال میانی ساخته شده است و مهاربند ضربدری با اتصال

اتصال تشکیل شده ولی به علت بالا بودن سختی در اتصال وسط نسبت به سایر قسمت‌های مهاربند، در این مود مفصل پلاستیک تشکیل نمی‌شود.

در طول این کمانش محدود شده، مقاومت و سختی زیادی توسط مهاربند کششی تأمین می‌شود تا مهاربند فشاری بتواند به کمانش خود ادامه بدهد. با افزایش تغییر مکان جانبی و همچنین افزایش نیروی کششی در مهاربند کششی، اتکای جانبی در وسط نیز افزایش می‌یابد. این محدودیت جانبی که مهاربند کششی به وجود می‌آورد به حدی بزرگ می‌شود که کمانش مهاربند را در کل طول آن متوقف می‌کند.

ظرفیت جذب انرژی مود دوم بیشتر از مود اول است، ولی برای رسیدن به مود دوم باید الزامات طراحی لرزه‌ای طوری باشد که در مود اول، سازه آسیب‌نندیده و نیز سازه بتواند تغییر شکل‌های غیر ارتجاعی و تشکیل مفصل پلاستیک در مود دوم را تحمل نماید. زیرا که تقاضای نیرویی و تغییر شکلی بیشتری در مود دوم به سازه تحمیل می‌شود و سایر قسمت‌های سازه (اتصالات، تیرها و ستون‌ها و ...) نباید در مسیر تغییر شکل‌های غیر ارتجاعی مهاربندها، آسیب ببینند.

مطالعات و پژوهش‌های فراوانی روی مهاربندهای ضربدری انجام شده است که در بیشتر آنها مثل ویتمور<sup>۱</sup> [1]، تورنتون<sup>۲</sup> [2] و یام و همکاران<sup>۳</sup> [3] بیشتر تمرکز روی رفتار ورق‌های انتهایی و تأثیر آنها بر رفتار کلی مهاربند است که در آنها تأثیر ورق میانی و چگونگی اتصال آن به مقاطع مهاربند نادیده گرفته شده است. در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی روی اتصال میانی مهاربندهای ضربدری انجام شده است که در ادامه مهم‌ترین آنها ذکر شده است.

در سال ۲۰۰۱ داوران به بررسی ضریب طول مؤثر اعضای منقطع در مهاربندهای ضربدری با استفاده از آنالیز پایداری الاستیک پرداخت. در این مقاله اتصال انتهایی به صورت مفصلی و اتصال میانی یک‌بار به صورت مفصلی و بار دیگر به صورت نیمه گیردار فرض شد و ضریب طول مؤثر برای هر دو حالت بر اساس نسبت نیروی کششی به نیروی فشاری

4 Tremblay et al.

5 Davide Giannuzzi et al

6 Braced Ductile Shear Panel (BDSP)

1 Whitmore

2 Thornton

3 Yam et al

روش باعث می شود که تعادل در معادله نیوتون-رافسون<sup>۳</sup> در امتداد یک کمان صورت گیرد. این روش می تواند از وقوع واگرایی حتی هنگامی که شیب نمودار نیرو-تغییر مکان صفر یا منفی می شود جلوگیری کند.

### ۳- مشخصات مدل انتخابی

برای انتخاب مدل اولیه، از مشخصات و ابعاد یک قاب تک دهانه از یک ساختمان فولادی که بر اساس ضوابط آیین نامه های ایران طراحی شده است، استفاده شد (شکل ۱). این قاب شامل دو ستون با مقطع IPB220، دو تیر با مقطع IPE220 و عضو مهاربندی با مقطع 2UNP100 که ارتفاع مرکز به مرکز تیرها و مرکز به مرکز ستون ها ۴ متر است. ورق اتصال به تیر و ستون با توجه به نشریه ۲۶۴ و با رعایت فاصله 2t و قرارگیری عرض ویتور درون صفحه طراحی شد [9].

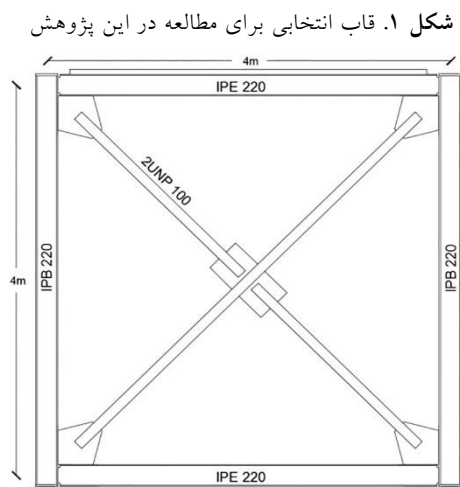


Fig. 1. Selected frame for study in this research

جدول ۱. ویژگیهای فولاد S235

Standard and Steel grade	$t \leq 40 \text{ mm}$			
	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\nu$
S235	235	360	210000	0.3

Table 1. Specifications of S235 steel

برای تمامی قطعات از فولاد S235 استفاده شده است، که

میانی به صورت فلنجی<sup>۱</sup> را در مقایسه با مهاربند رایج بررسی می کند.

### ۲- روش تحقیق

کمانش یک عضو ناشی از عدم تقارن در بارگذاری، عدم مستقیم بودن عضو و یا عدم تقارن سطح مقطع آن در طول به دلیل وجود نقص هایی مانند اعوجاج و یا ترک های ریز است. این عدم تقارن ها در حین افزایش بارمحوری تأثیری تجمعی داشته و در نهایت موجب کمانش عضو را پدید می آورند. البته این موارد در شبیه سازی نرم افزار در نظر گرفته نمی شوند علت اصلی این امر عدم قطعیت ها و پیچیدگی علل ایجاد کمانش است. بنابراین از آنجاکه مدل ها در نرم افزار به صورت ایده آل متقارن در نظر گرفته می شوند، باید به شکلی آثار این عوامل در قالب نقص اولیه<sup>۲</sup> در عضو لحاظ شود. واضح است این نقص اولیه در اعضا و بارگذاری های کاملاً متقارن لازم است اعمال شود و در غیر این صورت لازم نیست.

در صورت عدم تعریف نقص اولیه در عضو متقارن، این عضو می تواند در سطوح بالای بار کمانش کند. البته این کمانش ناشی از ناپایداری های ناچیز عددی بوده که حالتی تجمعی دارند و به هیچ عنوان نباید با کمانش واقعی مشتبّه شوند. با کنترل ساده ای می توان با توجه به بار کمانشی بالای این نوع کمانش ها، به غیرواقعی بودن آنها پی برد [8].

در این پژوهش مدهای کمانشی سیستم توسط آنالیز از نوع کمانش در نرم افزار آباکوس تعیین شده و از روی مقادیر ویژه نیروی بحرانی محاسبه و به دنبال آن ضریب طول مؤثر مهاربند محاسبه شده است. سپس نتایج مربوطه شامل شکل مدها به صورت نقص اولیه در یک مدل جدید معرفی می شوند. بنابراین در این پژوهش نمونه ها تحت دو آنالیز قرار گرفته اند، اولی برای تعیین مدهای کمانشی و دومی برای تحلیل رفتار پساکمانشی. به دلیل ناپایداری سازه در این مرحله از آنالیز Static-Riks استفاده می شود. این

1 Flanged joint  
2 Imperfections

3 Newton-Raphson

پیوسته از سخت‌کننده‌های داخلی استفاده شده است (شکل ۲).

سیستم جدید مهاربند ضربردری با پانل برشی شکل پذیر جاری شونده که در این اتصال به‌جای استفاده از ورق اتصال میانی از یک پانل برشی شکل‌پذیر جاری شونده استفاده شده است. این نمونه در دو حالت بدون سخت‌کننده و با سخت‌کننده بررسی شده است (شکل ۳).

شکل ۲. اتصال میانی به‌صورت فلنجی

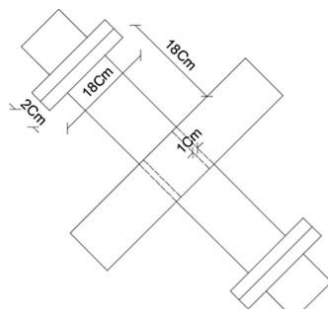


Fig. 2. Mid-connection in flange type

شکل ۳. مهاربند ضربردری با پانل برشی شکل‌پذیر (a- با سخت‌کننده، b- بدون سخت‌کننده)

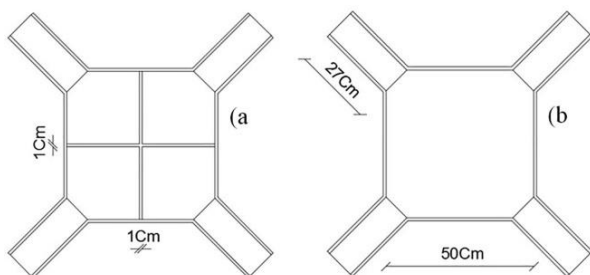


Fig. 3. Braced ductile shear panel (a- with stiffener, b- without stiffener)

## ۴- درستی آزمایشی

برای اطمینان از درستی شبیه‌سازی غیر الاستیک رفتار نمونه‌ها، با ساخت نمونه‌ای نتایج به‌دست‌آمده اعتبار سنجی شد. برای این منظور از نمونه‌ی HSS31 در مقاله پالمر و همکاران<sup>۴</sup> استفاده شده است (شکل ۴) [12].

در این نمونه از یک قاب با دو ستون W12×72، دو تیر W16×45 و عضو مهاربندی HSS3×3×1/4 استفاده شده است.

ویژگی‌های آن با توجه به استاندارد EN1993-1-1 در (جدول ۱) ارائه شده است [10].

برای شبیه‌سازی هرچه بهتر اتصال مفصلی تیر به ستون، ۸۰ درصد جان تیر ادامه نموده و به بال ستون متصل شده است. در این پژوهش اتصال کف قاب به‌صورت مفصلی در نظر گرفته شده است و تغییر مکان در سه جهت بسته شد. برای جلوگیری از کمانش تیرها و ستون‌ها، این اعضا در جهت خارج از صفحه مقید شده‌اند. برای بارگذاری به‌صورت مونوتونیک<sup>۱</sup> از قطعه صلبی که به‌صورت سراسری روی بال تیر بالایی قاب قرار می‌گیرد، استفاده شده است. این قطعه انتقال نیرو از دال را شبیه‌سازی خواهد کرد. به‌دلیل اینکه بارگذاری به‌صورت مونوتونیک در نظر گرفته شده است از سخت‌شدگی ایزوتروپیک<sup>۲</sup> استفاده شده است.

المان انتخابی برای مدل‌سازی صفحات در نرم‌افزار Abaqus المان S4R است. این المان یک المان خطی با چهار گره است که از روش انتگرال کاهش‌یافته برای حل انتگرال‌ها استفاده می‌کند این المان در هر گره دارای شش درجه آزادی تغییر مکان و دوران است. همچنین برای بقیه قطعات از المان C3D8R استفاده شده است. این المان یک المان سه‌بعدی با هشت گره است که از روش انتگرال کاهش‌یافته برای حل انتگرال‌ها استفاده می‌کند. این المان در هر گره دارای سه درجه آزادی تغییر مکان در جهت محورهای X، Y و Z است. در نواحی اتصال که از اهمیت بیشتری برخوردار هستند مشابه با تحلیل‌های یو و همکاران<sup>۳</sup> در سال ۲۰۰۷ از المان با اندازه ۲۵ در ۲۵ میلی‌متر و در سایر نواحی از المان با اندازه بزرگ‌تر استفاده شده است [11].

در این پژوهش دو اتصال جدید در اتصال میانی مهاربند ضربردری تحت آنالیز کمانش و پس کمانش قرار گرفته‌اند. اتصال میانی فلنجی که در این اتصال یک عضو پیوسته است و دو عضو دیگر با اتصال فلنجی به این عضو پیوسته متصل می‌شوند. در این اتصال برای جلوگیری از له‌شدگی عضو

1 Monotonic Loading

2 Isotropic Hardening

3 Yoo et al.

4 Palmer et al.

استفاده شده است. این قاب تحت بارگذاری چرخه‌ای تغییر مکان<sup>۱</sup> بر اساس آیین‌نامه ATC-24 قرار گرفته است (شکل ۶) [13].

پس از بارگذاری قاب و بررسی نتایج نمودار هیستریزس برای مقایسه با نمونه آزمایشگاهی رسم شد. همان‌طور که در (شکل ۷) دیده می‌شود، دو نمودار همپوشانی قابل قبولی دارند. شکل ۷. نمودار هیستریزس نمونه آزمایشگاهی و نرم افزاری

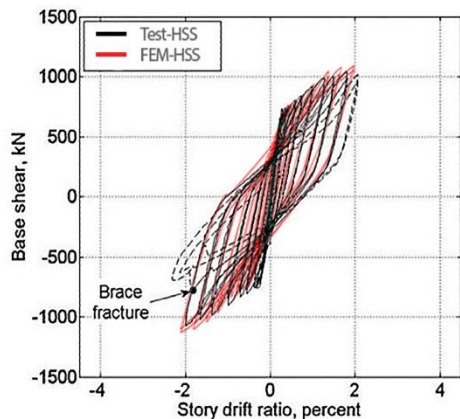


Fig. 7. Hysteresis curve of experimental and software samples

شکل ۸ مقایسه مدل آزمایشگاهی با مدل نرم‌افزاری (a-کمانش نامتعادل مهاربند منقطع، b-کمانش S شکل مهاربند پیوسته)

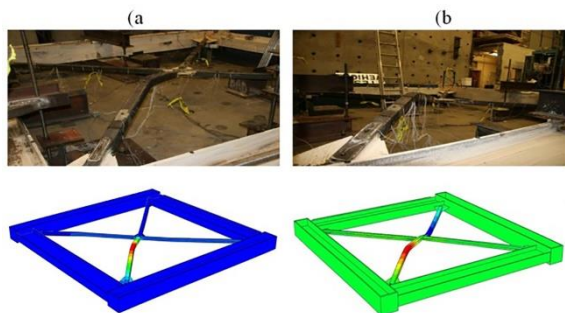


Fig. 8. Comparison of experimental model with software model (a-Unbalanced buckling of discontinuous bracing, b-Buckling of continuous bracing S shape)

همان‌گونه که در (شکل ۸) مشاهده می‌شود نمونه عددی که در این مطالعه برای اعتبارسنجی ساخته شده بود حالت کمانش عضو مهاربندی را به‌خوبی پیش‌بینی نمود.

## ۵- نتایج

### ۵-۱- آنالیز کمانش

در این مرحله روی تمامی نمونه‌ها آنالیز کمانش انجام

برای مدل‌سازی اتصال تیر به ستون و شبیه‌سازی نبشی جان در نرم‌افزار ۸۰ درصد جان تیر ادامه داده شده و به بال ستون متصل می‌شود (شکل ۵).

شکل ۴. نمونه قاب مهاربندی ضربدری HSS31 [12]

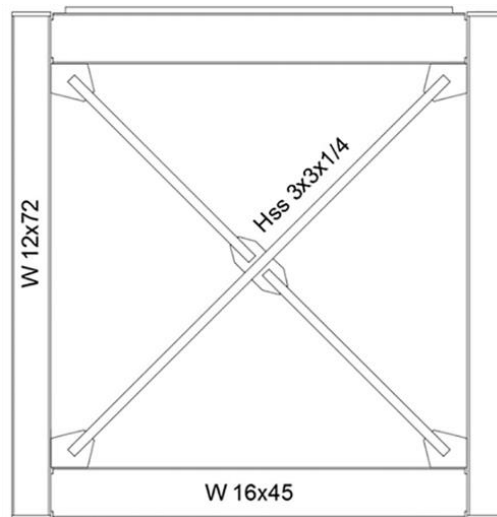


Fig. 4. Sample of HSS31 X-bracing frame [12]

شکل ۵. اتصالات قاب مهاربندی ضربدری HSS31 [12]

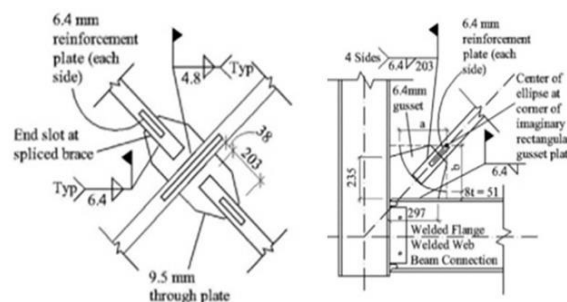


Fig. 5. Connections of HSS31 X-bracing frame [12]

شکل ۶. پروتکل بارگذاری

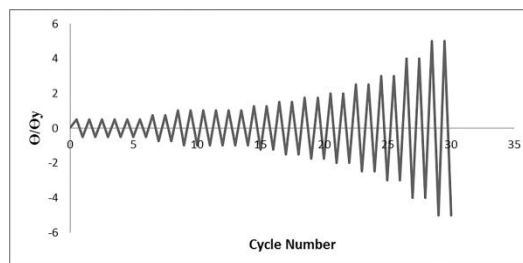


Fig. 6. Loading protocol

برای بارگذاری از قطعه صلبی که روی بال تیر بالایی قرار گرفته است و انتقال نیرو را از دال شبیه‌سازی می‌کند،

ملزومات آیین نامه‌ها که تضمین‌کننده‌ی مقاومت و سختی است، باید توجه کافی به شکل‌پذیری آن‌ها معطوف داشت. نتایج پژوهش‌ها بیانگر رفتار نامناسب قاب‌های مهاربندی‌شده‌ی ضربردری در زلزله هست. این قاب‌ها دارای رفتار چرخه‌ای کاهنده (بد مقاومت) و سختی اولیه‌ی بالا بوده و پس ورود به حوزه‌ی غیرخطی رفتار دچار افت شدید سختی می‌شود.

بنابراین مسئله‌ی کماتش پیش‌رونده اعضای مهاربند در این سازه‌ها بیشتر حائز اهمیت است. با اعمال نیروهای شدید زلزله، اعضای باربر جانبی سازه‌ی قاب مهاربندی‌شده به صورت متوالی وارد محدوده‌ی غیرخطی شده و این روند ممکن است تا ناپایداری کل سازه ادامه یابد [14].

اتصال فلنجی در مهاربند ضربردری باعث افزایش بار بحرانی و به تبعیت از آن باعث کاهش ضریب طول مؤثر مهاربند ضربردری می‌شود.

می‌شود و مودهای کماتش به دست می‌آیند و با توجه به مود کماتش اولیه که محتمل‌تر از بقیه مودها است نیروی بحرانی مهاربند محاسبه می‌شود. سپس با داشتن نیروی بحرانی مهاربند، ضریب طول مؤثر برای هر مهاربند محاسبه و با یکدیگر مقایسه می‌شوند. در آنالیز کماتش به دلیل در نظر گرفته نشدن هندسه و مصالح غیرخطی و همچنین در نظر گرفتن فاصله  $2t$  در ورق‌های انتهایی با افزایش نیروی فشاری در عضو مهاربندی منقطع، پیچشی حول محور مهاربند پیوسته در ورق‌های متصل به عضو مهاربندی پیوسته به وجود می‌آید که این پیچش باعث کماتش هر دو عضو منقطع می‌شود.

سازه‌ها با توجه به فلسفه طراحی لرزه‌ای، در زلزله‌های شدید وارد محدوده‌ی غیرخطی می‌شوند. در محدوده‌ی غیرخطی، شکل‌پذیری سازه نقش تعیین‌کننده‌ای در رفتار لرزه‌ای آن دارد؛ بنابراین در طراحی سازه‌ها علاوه بر رعایت

جدول ۲. نیروی بحرانی و ضریب طول مؤثر مهاربند ضربردری با انواع اتصال میانی

Common Mid-connection		Flange Mid-connection		Braced ductile shear panel without stiffener		Braced ductile shear panel with stiffener	
Critical load (ton)	Effective length coefficients	Critical load (ton)	Effective length coefficients	Critical load (ton)	Effective length coefficients	Critical load (ton)	Effective length coefficients
137.36	0.523	143.36	0.511	170.53	0.469	177.45	0.459

Table 2. Critical force and effective length coefficients of X-bracing with various types of middle connectors

شکل ۹. آنالیز پس کماتش نمونه‌ها (a- اتصال رایج، b- اتصال فلنجی، c- پانل برشی شکل‌پذیر جاری شونده)

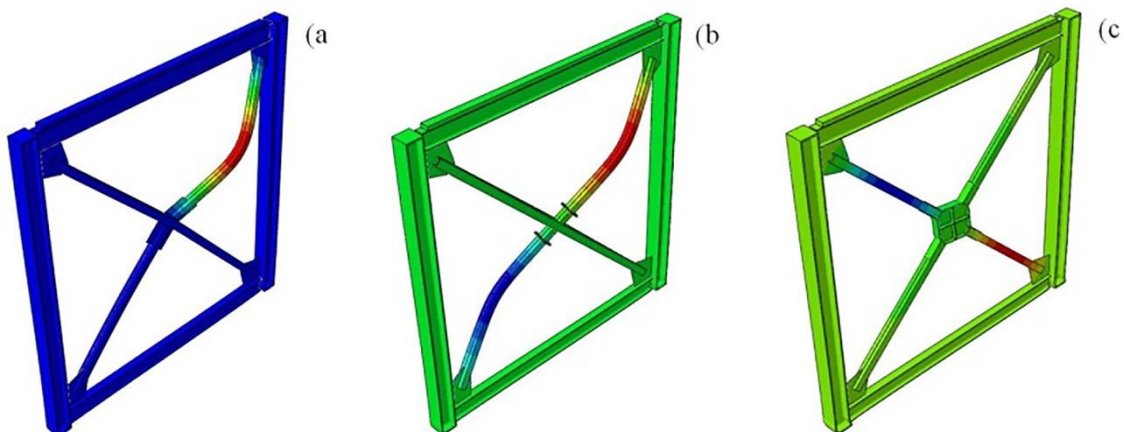


Fig. 9. Post buckling analysis of samples (a-Common connection, b-Flange connection, c-Yielding ductile shear panel)

اتکای جانبی که مهاربند پیوسته برای مهاربند منقطع ایجاد می‌کند با افزایش نیروی فشاری در مهاربند منقطع فقط در یک عضو مهاربندی کماتش رخ می‌دهد، ولی استفاده از اتصال فلنجی باعث پیوستگی در اتصال میانی مهاربند ضربدری و کماتش هماهنگ اعضای مهاربندی می‌شود، همچنین در مهاربندی که از پانل برشی شکل پذیر جاری شونده استفاده شده به دلیل تسلیم پانل برشی هیچ کماتشی در مهاربند رخ نمی‌دهد که این امر باعث افزایش باربری قاب و اتلاف انرژی بیشتر توسط قاب مهاربندی فولادی می‌شود.

با توجه به شکل (۱۰) مشخص می‌شود که استفاده از اتصال فلنجی در مهاربند ضربدری موجب افزایش ۳/۵ درصدی مقاومت نهایی مهاربند ضربدری می‌شود که این به دلیل افزایش پیوستگی بیشتر در اتصال میانی است.

شکل ۱۰. نمودار تغییر مکان-برش پایه مهاربند با اتصال فلنجی و

اتصال رایج

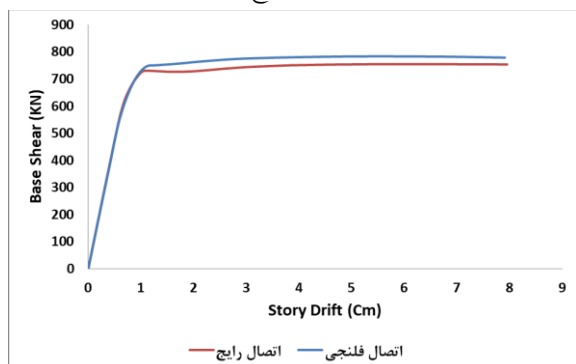


Fig. 10. Displacement-shear base of brace chart with flange connection and common connection

شکل ۱۱. نمودار تغییر مکان خارج صفحه مهاربند با اتصال فلنجی و

اتصال رایج

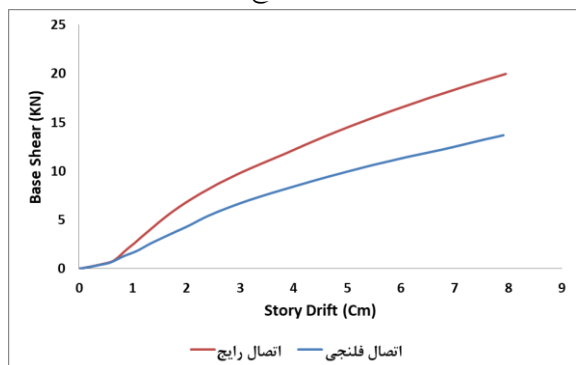


Fig. 11. Out of plane displacement of brace chart with flange connection and common connection

که این می‌تواند به دلیل پیوستگی بیشتر در اتصال میانی و هماهنگی کماتش دو مهاربند منقطع در اتصال میانی مهاربند ضربدری باشد. همچنین مشخص است که اتصال با پانل برشی شکل پذیر جاری شونده نیز باعث افزایش بار بحرانی مهاربند ضربدری و به تبعیت از آن باعث کاهش ضریب طول مؤثر در مهاربند ضربدری می‌شود و استفاده از سخت‌کننده در این اتصال باعث بهبود باربری و کاهش ضریب طول مؤثر مهاربند ضربدری می‌شود.

#### ۵-۲- آنالیز پس کماتش

مرحله پس از کماتش مرحله‌ای است که به دنبال به وجود آمدن کماتش رخ می‌دهد. وقتی که بار به بحرانی‌ترین مقدار خود برسد، مقدار بار ممکن است تغییر نکند و شاید شروع به کاهش کند که طی آن تغییر شکل رو به افزایش است. در بعضی از موارد سازه به‌طور پیوسته به گرفتن بار بیشتر حتی بعد از مقدار معین تغییر شکل، ادامه می‌دهد و این باعث افزایش تغییر شکل‌ها می‌شود که در نهایت منجر به ادامه در چرخه کماتش دوم یعنی مسیر پس از کماتش می‌شود. آنالیز و تحلیل رفتار پس از کماتش سازه‌ها بیشتر غیرخطی است که اطلاعات به مراتب بیشتری را از حالت خطی به ما خواهد داد [15].

پس از آنالیز خطی با در نظر گرفتن نقص اولیه با توجه به مد کماتش محتمل، آنالیز غیرخطی روی نمونه‌ها انجام شده است.

اگر سختی مهاربند کششی قابل توجه باشد و اتصال وسط نیز بتواند اندرکنش دو مهاربند را فراهم نماید، در واقع؛ اتصال وسط پیوستگی لازم را داشته باشد کماتش مهاربند فشاری در مود دوم خواهد بود. در این حالت اتصال وسط پس‌ازاینکه مقدار کمی تغییر مکان جانبی پیدا کرد، متوقف‌شده و تغییر شکل مهاربند فشاری به‌صورت دو انحنائی می‌شود که در حالت ایده آل تغییر مکان جانبی اتصال وسط را صفر در نظر می‌گیرند.

در کماتش غیرخطی با توجه به شکل (۹) در اتصال میانی رایج به دلیل در نظر گرفته شدن هندسه غیرخطی و وجود

## ۶- نتیجه گیری

در این پژوهش دو اتصال میانی جدید، اتصال فلنجی و پانل برشی شکل پذیر جاری شونده مدل‌سازی و تحت آنالیز کماتش و پس کماتش قرار گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که اتصال فلنجی باعث افزایش بار بحرانی و به تبعیت از آن باعث کاهش ضریب طول مؤثر مهاربند ضربدری می‌شود و این اتصال با پیوستگی خود باعث کماتش هماهنگ اعضای مهاربندی یا به اصطلاح کماتش مود دوم در مهاربند ضربدری می‌شود که این امر موجب افزایش مقاومت نهایی و کاهش تغییر مکان خارج از صفحه عضو مهاربندی هنگام کماتش نسبت به اتصال رایج می‌شود. همچنین اتصال با پانل برشی شکل پذیر جاری شونده نیز باعث افزایش بار بحرانی مهاربند ضربدری و به تبعیت از آن باعث کاهش ضریب طول مؤثر در مهاربند ضربدری می‌شود و استفاده از سخت کننده در این اتصال باعث بهبود باربری و کاهش ضریب طول مؤثر مهاربند ضربدری می‌شود و این اتصال همراه با سخت کننده باعث افزایش ۳۲ درصدی مقاومت نهایی مهاربند ضربدری به دلیل تسلیم شدن پانل برشی در این حالت و عدم کماتش عضو مهاربندی می‌باشد. کماتش عضو مهاربندی و افزایش ۲۳ درصدی جذب انرژی توسط قاب مهاربندی می‌شود.

این نکته حائز اهمیت است که هر دو اتصال باعث افزایش شکل پذیری مهاربند ضربدری می‌شوند و همچنین اتصال با پانل برشی شکل پذیر جاری شونده نه تنها بهترین عملکرد فشاری را در میان اتصالات از خود نشان می‌دهد بلکه پس از زلزله با تعویض اتصال میانی و کمترین هزینه می‌توان مهاربند را تعمیر کرد.

## References

- [1] Whitmore, R. E. 1952 "Experimental investigation of stresses in gusset plate". Bulletin no 16, Engineering Experiment Station. University of Tennessee.
- [2] Thornton, W.A. 1984 "Bracing connection for heavy construction". *Engineering Journal*, 21(3), 139-148.
- [3] Yam, M. C. H. & Cheng, J. J. R. 1993 "Experimental investigation of the compressive behavior of gusset plate connection". *Structural*

## ۷- مراجع

همچنین با توجه به شکل (۱۱) نیز مشخص می‌شود که اتصال فلنجی در مهاربند ضربدری باعث کاهش ۳۵ درصدی تغییر مکان خارج از صفحه مهاربند می‌شود که این به دلیل هماهنگی کماتش دو عضو منقطع می‌باشد.

با توجه به شکل (۱۲) مشخص می‌شود که استفاده از پانل برشی شکل پذیر جاری شونده با سخت کننده در اتصال میانی مهاربند ضربدری موجب افزایش ۳۲ درصدی مقاومت نهایی مهاربند ضربدری می‌شود که این به دلیل تسلیم شدن پانل برشی در این حالت و عدم کماتش عضو مهاربندی می‌باشد.

شکل ۱۲. نمودار تغییر مکان-برش پایه مهاربند ضربدری با پانل برشی شکل پذیر جاری شونده

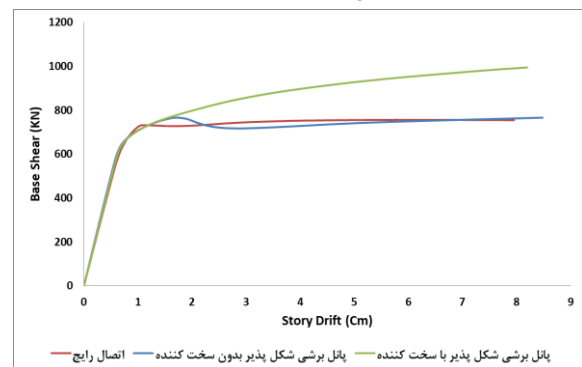


Fig. 12. Displacement-shear base chart of braced ductile shear panel

همچنین شکل (۱۳) نشان می‌دهد که استفاده از پانل برشی شکل پذیر جاری شونده با سخت کننده باعث افزایش ۲۳ درصدی جذب انرژی توسط قاب مهاربندی می‌شود.

شکل ۱۳. نمودار انرژی جذب شده توسط مهاربند ضربدری با پانل برشی شکل پذیر جاری شونده

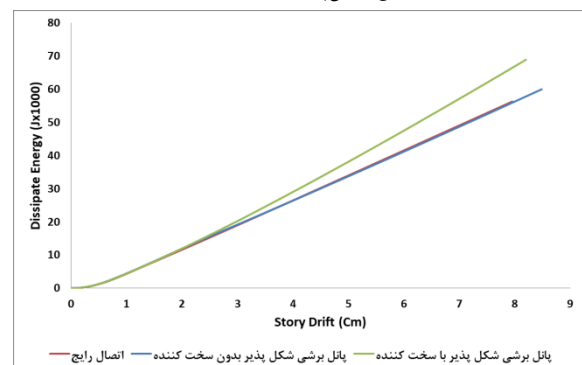


Fig. 13. Absorbed Energy Chart of braced ductile shear panel



- [10] EN 1993-1-1. 2005 "Eurocode 3: Design of Steel Structure – Part 1-1: General Rules and Rules for Building. European Committee for Standardisation". Brussels.
- [11] Yoo, J. H., Lehman, D. E., & Roeder, C. W. 2007 "Influence of Connection Design Parameters on the Seismic Performance of Braced Frames". *Journal of Constructional Steel Research*, **64**(6), 607-623.
- [12] Palmer, D. K., Roeder, C. W., Lehman, D. E., Okazaki, T., Shield, C. K. & Powell, J. 2012 "Concentrate X-braced frames with HSS bracing". *International Journal of Steel Structure*, **12**(3), 443-459.
- [13] Applied Technology Council. 1992 ATC-24, Guidelines for cyclic testing of components of steel structures.
- [14] Aboutalebi, M. 2002 "A study on the behavior of X-bracing system components using finite element method". M.s, the University of Shiraz, Iran. (In Persian).
- [15] Deshpande, S. 2010 "Buckling and post buckling of structural components". M.s, the University of Texas at Arlington in Partial Fulfillment of the Requirements.
- Engineering Report No. 194, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alta.
- [4] Davaran, A. 2001 "Effective length factor for discontinuous X-bracing systems". *Journal of Engineering Mechanics*, **127**(2), 106-112.
- [5] Tremblay, R., Archambault, M. H. & Filiatrault, A. 2013 "Seismic response of concentrically braced steel frames made with rectangular hollow bracing members". ASCE, *Journal of Structural Engineering*, **129**(12), 1626-1636.
- [6] Davaran, A. & Hoveidae, N. 2008 "Effect of mid-connection detail on the behavior of X-bracing systems". *Journal of Constructional Steel Research*, **65**(4), 985-990.
- [7] Giannuzzi, D., Ballarini, R., Huckelbridge, A., Michael, P. & Valente, M. 2013 "Braced Ductile Shear Panel: New Seismic-Resistant Framing System". ASCE, *Journal of Structural Engineering*, **140**.
- [8] Shahbazi, R. & Yekrangnia, M. 2014 "Abaus applied manual with examples for civil engineering". 2nd ed, Elme omran, Tehran. (In Persian).
- [9] Connections in steel structures standard. 2003 "264th issue ". Management and Planning Organization of Iran. (In Persian).

# Evaluation of new mid-connections specifications effect on the compressive performance of X-bracing systems

M. Mahmoudi Sahebi<sup>1\*</sup>, A. Shirpour<sup>2</sup>, A. Zarezadeh Mehrizi<sup>3</sup>

1- Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University

2- Master of structural engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University

3- Master of structural engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University

\*m.mahmoudi@srttu.edu

## Abstract:

Buildings in seismic regions are prone to severe damage due to large deformations and low capacity to absorb energy. X-bracing is effectively employed in maintaining the structure stability when earthquakes occur or extreme lateral loads act on the structure. The widespread use of X-bracing systems in steel structures reveals the importance of understanding mid-connections in this kind of braces. When applying a lateral force on X-braces, one structural member comes under tension while the second one is under stress. Buckling occurs to the member subjected to stress and when effective length factor reduces, the member handles a more critical load. X-brace effective length factor is not only influenced by end connection forces but it also depends on mid-connection and its implementation. If the stiffness of tensile bracing is considerable enough, the mid-connection can provide the interaction between the two braces. In fact, should the mid-connection have enough bond, stress brace buckling will be in the second mode. In this state, when the mid-connection slightly changes into a lateral sway, it stops and the stress bracing deforms as double-curved. Nevertheless, in its ideal state, the mid-connection lateral displacement is considered zero. This study aims to design based on Abaqus 3D software the two new mid-connections, flanged joint, and yielding ductile shear panel. Their buckling and post-buckling were also analyzed using nonlinear geometry and materials. In flanged joint, one member is bonded and two other ones are connected to this bonded member. Interior stiffener is used to prevent this bonded member from crushing. Furthermore, in new X-bracing systems instead of mid-connection sheets a yielding ductile shear panel is used. This sample was examined in two modes with and without stiffener. The results indicate that flanged joint increases the critical load and consequently decreases X-bracing effective length factor. This joint also leads to brace buckling coordinate or as it is known as X-bracing second mode buckling. This kind of buckling increases the ultimate strength and decreases displacement outside of bracing member sheet compared to that of the common joint. Furthermore, yielding ductile shear panel connection increases the X-bracing critical load as well as decreases X-brace effective length factor. The using of stiffener in this kind of connection improves loading and reduces X-brace effective length factor. The connection along with the stiffener comes with a 32 percent increase of the X-bracing ultimate strength due to the yielding of the shear panel and the lack of brace buckling. Also, this connection brings about a 23 percent increase in energy adoption by bracing frame. It is important to note that both connections increase the X-bracing behavior factor compared to the common connection. Yielding ductile shear panel connection not only shows the best stress performance among the connections but also with the lowest costs the X-brace can be repaired by changing mid-connection after the earthquake.

**Keywords:** X-Brace, Effective length factor, Buckling and Post-Buckling, Flanged joint, BDSP