



مطالعه آزمایشگاهی و تئوریک پارامترهای موثر بر رفتار کمانشی سیستم مهاربندی کشویی

سعید صبوری^{*}، بارش پاینده‌جو

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، تهران، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۶ تیر ۱۳۹۴
بازنگری: ۱۱ مرداد ۱۳۹۵
پذیرش: ۲۰ شهریور ۱۳۹۷
ارائه آنلاین: ۲۵ شهریور ۱۳۹۷

کلمات کلیدی:

مهاربند کشویی
کمانش
آزمایش شبه استاتیکی
شکل‌پذیری
رفتار چرخه‌ای

چکیده: مطالعه‌های انجام گرفته بر روی جذب انرژی مهاربند ضربدری نشان می‌دهد که وقوع کمانش در این سیستم مهاربندی، شکل‌پذیری سیستم را به شدت تحت تاثیر خود قرار داده و مانع از عملکرد مطلوب آن می‌گردد. از این رو حذف پدیده کمانش می‌تواند کمک شایانی را در بهبود رفتار لرزه‌ای مهاربندهای تحت اثر نیروی محوری فشاری ایفا نماید. سیستم مهاربندی کشویی در این راستا پیشنهاد و ارائه شده است. این سیستم مهاربندی از سه ورق موازی تشکیل شده است که توسط تعدادی ورق موازی یکدیگر که عمود بر ورق‌های اصلی در سیستم قرار گرفته‌اند و وظیفه جذب انرژی را در سیستم به عهده دارند، به هم متصل شده‌اند. در واقع ورق‌های موازی دارای سختی و مقاومت لازم برای انتقال نیرو به ورق‌های عمود بر آنها برای جذب انرژی بوده و خود در حالت الاستیک باقی می‌مانند. مزیت اصلی این سیستم مهاربندی نسبت به سایر سیستم‌های مهاربندی از بین بردن اثرات مخرب پدیده کمانش است. حرکت کشویی رفت و برگشتی عامل اصلی استهلاک انرژی در این سیستم مهاربندی محسوب می‌گردد. در این مقاله ضمن تشریح آزمایش‌های انجام گرفته، روابطی برای محاسبه مقاومت کمانشی این سیستم مهاربندی پیشنهاد گردیده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که مقاومت کمانشی سیستم، به ترتیب در حدود ۳ درصد بیشتر و ۱۷ درصد کمتر از مقاومت‌نهایی قابل تحمل سیستم در آزمایش‌های اول و دوم می‌باشد. به این ترتیب برای جلوگیری از وقوع کمانش در این سیستم مهاربندی، اجزای مهاربندی می‌بایست به گونه‌ای طراحی شوند که مقاومت کمانشی ورق‌های موازی، بیشتر از مقاومت‌نهایی قابل تحمل سیستم گردد.

۱- مقدمه

سیستم‌های مهاربندی هم‌مرکز از انواع سیستم‌های مهاربندی متداول است که به دلیل سختی و مقاومت بالای خود به وفور در کارهای ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سختی این سیستم در مقایسه با سایر سیستم‌های مهاربندی مشابه بیشتر بوده و از این رو گزینه مناسبی برای استفاده در سازه‌های مختلف است. شکل‌پذیری پایین، از جمله نقاط ضعف این سیستم مهاربندی است که عملکرد لرزه‌ای آن را به شدت تحت الشعاع خود قرار می‌دهد. وقوع کمانش کلی در عضو که تحت تاثیر نیروی محوری فشاری قرار می‌گیرد، عامل اصلی کاهش شکل‌پذیری در این سیستم مهاربندی است.

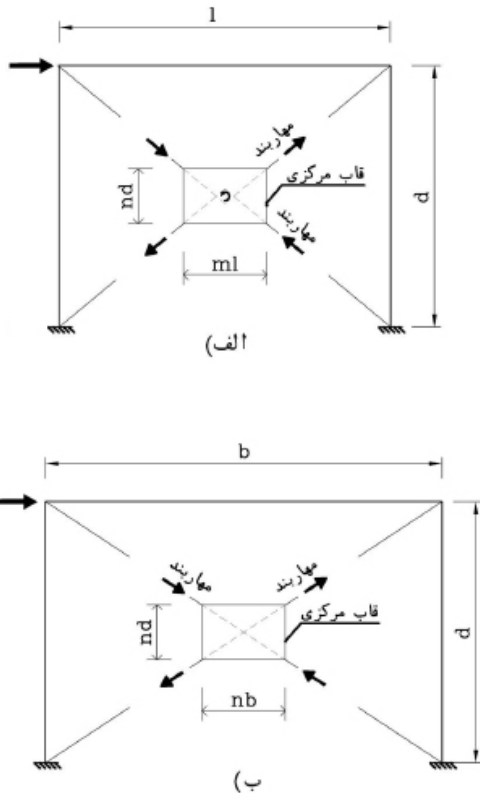
برای برطرف کردن نقاط ضعف این سیستم مهاربندی محققان زیادی بر روی این سیستم کار کرده‌اند تا بتوانند با شناخت نقاط ضعف و قوت آن، عملکرد لرزه‌ای این سیستم مهاربندی را بهبود بخشند. گاجینز و همکاران (۲۰۰۶) [۱]، شابک و براون (۲۰۰۳) [۲]، الچالاکانی و همکاران (۲۰۰۳) [۳]، بوترس (۱۹۹۹) [۴]، واکابایاشی (۱۹۸۶) [۵]، آستانه اصل و گوئل

(۱۹۸۴) [۶]، بلک و همکاران (۱۹۸۰) [۷]، زایاس و همکاران (۱۹۸۰) [۸]، جین و گوئل (۱۹۷۸) [۹] و شрман و ارزوروملو (۱۹۷۶) [۱۰] از جمله کسانی هستند که بر روی رفتار هیستریزیس سیستم مهاربندی مذکور کار کرده‌اند. مطالعه‌های صورت گرفته توسط این گروه نشان داد که موثرترین پارامترهایی که رفتار هیستریزیس این سیستم مهاربندی را تحت الشعاع خود قرار می‌دهد نسبت لاغری، شرایط تکیه‌گاهی مهاربند ضربدری، نوع مقطع مورد استفاده و نسبت عرض به ضخامت آن است.

دولف و پلیسیون (۱۹۷۹) [۱۱]، التایم و گوئل (۱۹۸۶) [۱۲]، کیتیورنچا و فینچ (۱۹۸۶) [۱۳]، استومن (۱۹۸۸ و ۱۹۸۹) [۱۴ و ۱۵]، وانگ و بورسی (۱۹۹۲) [۱۶]، صبوری و عبادی (۲۰۱۰) [۱۷] از جمله کسانی هستند که تاثیر نوع اتصال میانی را بر روی رفتار چرخه‌ای سیستم مورد مطالعه قرار داده‌اند. آنها نشان دادند که نوع اتصال میانی یکی از مهم‌ترین عوامل در تعیین مقاومت کمانشی سیستم‌های مهاربندی ضربدری است. همچنین وقوع کمانش موضعی در وسط این مهاربندها و سپس گسترش کرنش‌های پلاستیک در این نقاط عامل اصلی افت شکل‌پذیری و خرابی زود هنگام عضو است.

وانگ و بورسی (۱۹۹۲) [۱۶] معیارهای پایداری این نوع مهاربند را به

^{*}نویسنده عهده‌دار مکاتبات: sabouri@kntu.ac.ir



شکل ۱: چرخش سیستم مهاربند جاری شونده مرکزی در صورت عدم تشابه هسته مرکزی و قاب اصلی

Fig. 1. Rotation of system due to unsuitable central frame dimension

در سال‌های اخیر برای از بین بردن آثار مخرب پدیده کمانش در کاهش شکل‌پذیری سیستم مهاربندی ضربدری، تلاش‌های به سزایی صورت پذیرفته است. سیستم مهاربندی کشویی^۲ (صبوری و پاینده‌جو ۲۰۱۶) [۲۸] و اتصال دهنده‌های دم عقربی^۳ (گری و همکاران ۲۰۱۰) [۲۹ و ۳۰] که طی فرآیند ریخته‌گری تولید می‌گردند، از جمله سیستم‌های نوینی هستند که در این زمینه پیشنهاد شده‌اند. نحوه عملکرد این سیستم‌ها به این گونه است که با هدایت منطقی نیروهای محوری فشاری به داخل عناصر جاری شونده‌ای که به همین منظور در داخل سیستم تعبیه شده‌اند، کمانش در داخل سیستم مهاربندی ضربدری حذف شده و یا به تعویق می‌افتد.

در کنار سیستم‌های ذکر شده، می‌توان به مهاربندهای ADAS^۴ و TADAS^۵ و همچنین میراگرهای جاری شونده دندان‌شانه‌ای اشاره نمود که از جمله سیستم‌های نوین دیگری هستند که عملکرد مشابهی داشته و

صورت تئوری مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که ضریب طول موثر کمانش متأثر از نسبت نیروی محوری در عضو کششی نسبت به نیروی محوری در عضو فشاری است. تحقیقات انجام گرفته توسط استومن (۱۹۸۸ و ۱۹۸۹) [۱۴ و ۱۵] مشخص کرد که زمانی که نیروی محوری در عضو کششی بیش از دو برابر بار بحرانی کمانش در عضو محوری فشاری می‌گردد، کمانش سیستم مهاربندی در مود دوم آن به وقوع می‌پیوندد. داوران (۲۰۰۱) [۱۸] چنین نتیجه‌گیری نمود که برای افزایش ظرفیت باربری این سیستم مهاربندی، سختی چرخشی در محل اتصال دو مهاربند به یکدیگر باید با ارائه جزئیات مناسب افزایش یابد.

آزمایش‌های انجام گرفته توسط صبوری و عبادی نشان داد که استفاده از هسته صلب میانی در محل تقاطع مهاربندهای ضربدری از جمله عوامل تاثیرگذاری است که سبب افزایش مقاومت کمانشی و بهبود رفتار لرزه‌ای این سیستم مهاربندی می‌گردد. یوروکوفسکی و همکارانش (۱۹۸۷) [۱۹] و [۲۰] از جمله کسانی هستند که بر روی رفتار نوع خاصی از سیستم مهاربندی ضربدری تحت عنوان سیستم مهاربند جاری شونده مرکزی کار کرده‌اند. آنها برای این سیستم مقطعی سیلندری که با بتن پر شده بود را پیشنهاد داده به بررسی رفتار غیر خطی آن پرداختند. ضمن اینکه نتایج حاصل از مطالعه‌های خود را با مدل آزمایش شده در مقیاس واقعی مقایسه کردند. سایمی و فریتی در دهه ۹۰ [۲۱ و ۲۲] این سیستم را مورد مطالعه قرار داده و دو سیستم متفاوت مهاربند جاری شونده مرکزی را پیشنهاد دادند. بعد از آنها ولکانو در سال ۱۹۹۵ بر روی میراگرهای پال و مارش و نیز میراگر مهاربند جاری شونده مرکزی مطالعه نمود. وی مطالعه‌های انجام شده توسط سایمی را ادامه داد [۲۳]. مطالعه‌های انجام شده توسط سایمی نشان داد که یکی از مهم‌ترین عواملی که می‌بایست در مدلسازی سیستم مهاربند جاری شونده مرکزی در نظر گرفته شود ابعاد حلقه مرکزی است. وی نشان داد که طول و عرض حلقه مرکزی می‌بایست متناسب با ابعاد قاب اصلی اختیار شود تا ممان ناشی از خروج از مرکزیت بارهای اعمالی به حلقه باعث ایجاد چرخش در سیستم مهاربندی نگردد (شکل ۱). بهینه‌سازی ابعاد قاب میانی، بررسی رفتار غیر خطی این سیستم با ایجاد بازشوهای مختلف و مقایسه با سیستم مهاربند جاری شونده مرکزی با اتصالات صلب قاب اصلی [۲۴]، بررسی ضریب رفتار [۲۵] و استفاده از فولاد نرم از جمله کارهای دیگر انجام شده بر روی سیستم مهاربند جاری شونده مرکزی است که توسط صبوری و همکاران انجام گرفته است [۲۶ و ۲۷].

2 Drawer Bracing System (DBS)

3 Cast Steel Yielding Brace (Scorpion Yielding Connector)

4 Added Damping and Stiffness

5 Triangular Added Damping and Stiffness

1 MR-YDBF

جهت تضمین حرکت کشویی رفت و برگشتی و جلوگیری از وقوع کمانش کلی در این سیستم مهاربندی، ورق‌های جاذب انرژی نسبت به محور ضعیف خود در داخل سیستم قرار داده شده‌اند. با تغییر در عرض، ضخامت، ارتفاع، فاصله و تعداد ورق‌های جاذب انرژی در این سیستم مهاربندی می‌توان به شکل پذیری، سختی و مقاومت مورد نیاز دست یافت. با توجه به اینکه ورق‌های جاذب انرژی نسبت به محور ضعیف خود در سیستم قرار گرفته‌اند، لذا سختی برشی ناچیزی داشته و تسلیم خمشی همواره حاکم بر رفتار این سیستم مهاربندی می‌باشد. در سیستم مهاربندی کشویی با حذف پدیده کمانش انتظار می‌رود که منحنی‌های هیستریزس تشکیل شده بصورت دوکی شکل با جذب انرژی بالا باشد. به این ترتیب رفتار لرزه‌ای سیستم مهاربندی بهبود یافته و جذب انرژی در هر چرخه نسبت به چرخه قبل با افزایش تغییر مکان به میزان قابل توجهی افزایش یابد.

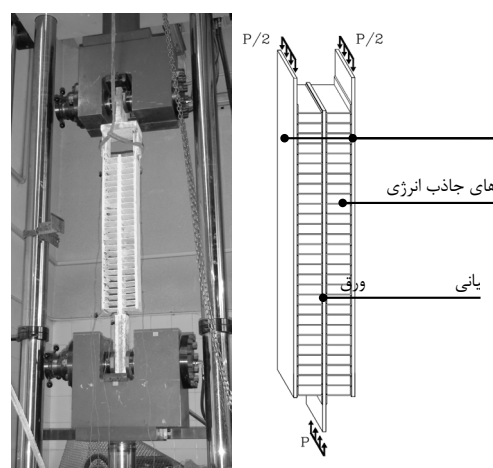
۳- شرح آزمایش‌های صورت گرفته بر روی سیستم مهاربندی کشویی

به منظور بررسی رفتار لرزه‌ای سیستم مهاربندی کشویی دو آزمایش در نصف ابعاد واقعی تدارک دیده شد. این آزمایش‌های در سال ۲۰۱۱ در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله و لرزه‌شناسی با استفاده از دستگاه یونیورسال^۱ انجام گرفت. با توجه به اینکه در مطالعه‌های اولیه صورت گرفته بر روی سیستم مهاربندی کشویی ارتفاع ورق‌های جاذب انرژی به عنوان مهم‌ترین عاملی که می‌تواند رفتار کمانشی آن را تحت الشعاع خود قرار دهد مطرح بوده است، به همین دلیل طراحی دو آزمایش مقدماتی با تغییر در ارتفاع ورق‌های جاذب انرژی صورت پذیرفت و به این ترتیب تاثیر تغییر ارتفاع این ورق‌ها بر روی رفتار کمانشی سیستم مورد ارزیابی قرار گرفت. سایر خصوصیات نمونه‌ها اعم از ضخامت و عرض ورق‌های جاذب انرژی و ضخامت، عرض و طول ورق‌های موازی ثابت نگه داشته شد. همچنین ورق‌هایی که به منظور ایجاد شرایط تکیه‌گاهی سازگار با دستگاه یونیورسال مورد استفاده قرار گرفته‌اند کاملاً مشابه یکدیگر انتخاب شده‌اند. در ساخت نمونه‌ها از ورق‌های موجود در یک ورقه^۲ استفاده شد تا خصوصیات فولاد مورد استفاده در نمونه‌ها نیز کاملاً مشابه یکدیگر انتخاب شده باشد و بتوان قضاوت مناسب‌تری را بر روی نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها انجام داد. در این نمونه‌ها چندین کرنش سنج تک محوری برای اندازه‌گیری کرنش در مکان‌هایی که در آنها احتمال جاری‌شدگی و رفتار غیرالاستیک وجود دارد مورد استفاده قرار گرفته است. برای اندازه‌گیری تغییرمکان‌داخل صفحه نیز از دستگاه اندازه‌گیری تغییرمکان استفاده شد. در شکل ۳ موقعیت قرارگیری کرنش‌سنج‌ها و دستگاه اندازه‌گیری تغییرمکان نشان داده شده است.

با تبدیل نیروهای برشی به لنگرهای خمشی و نیروهای برشی در المان‌های جاذب انرژی جذب انرژی می‌نمایند [۳۱ و ۳۲]. در این مقاله ابتدا توضیحات اجمالی در مورد سیستم مهاربند کشویی و نحوه استهلاك انرژی در آن داده شده است، سپس آزمایش‌های انجام گرفته بر روی این سیستم مهاربندی شرح داده شده‌اند. در ادامه نیز روابطی برای طراحی کمانشی این سیستم مهاربندی، پیشنهاد شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که روابط تئوری‌ای که در این مقاله برای محاسبه مقاومت کمانشی سیستم مهاربندی کشویی ارائه شده‌اند در تطابق مناسبی با نتایج آزمایش‌های انجام گرفته بر روی آنها می‌باشند.

۲- معرفی سیستم مهاربندی کشویی

سیستم مهاربند کشویی می‌تواند جایگزین مناسبی برای هر نوع مهاربندی از جمله مهاربندهای هم‌مرکز باشد. در مهاربندهای هم‌مرکز می‌تواند در یک جهت و یا در هر دو راستا مورد استفاده قرار بگیرد. این نوع مهاربند برای اولین بار در سال ۲۰۱۱ توسط صوری و پاینده‌جو پیشنهاد شد و در اواخر همان سال نیز مورد آزمایش قرار گرفت. سیستم مهاربندی کشویی از سه ورق موازی تشکیل یافته است که با استفاده از تعدادی ورق‌های عمود بر آنها به یکدیگر متصل شده‌اند. وظیفه اصلی ورق‌های موازی، تامین سختی و مقاومت کافی برای انتقال نیرو به ورق‌هایی است که وظیفه جذب انرژی را در سیستم بر عهده دارند. جذب انرژی در این سیستم از طریق هدایت منطقی نیروهای محوری فشاری و تبدیل کردن آنها به لنگرهای خمشی و نیروهای برشی در المان‌های جاذب انرژی صورت می‌پذیرد (شکل ۲).



شکل ۲: سیستم مهاربندی کشویی

Fig. 2. DRAWER BRACING SYSTEM

1 Universal Testing Machine

2 Sheet

انرژی استفاده شده است. در آزمایش‌های انجام گرفته بر روی این سیستم مهاربندی از پنجاه و دو عدد ورق جاذب انرژی به عرض ۱۰۰ میلی‌متر استفاده شد. به این ترتیب مساحت مورد استفاده برای این ورق‌ها به ۳۰۰ میلی‌متر مربع محدود گردید. ضخامت و عرض ورق‌های موازی کناری به کار گرفته شده به ترتیب برابر ۱۰ و ۱۰۰ میلی‌متر انتخاب شد. همچنین ضخامت ورق موازی میانی به کار گرفته شده در این آزمایش‌های برابر ۱۲ میلی‌متر انتخاب شد.

۴- پروتکل بارگذاری

با توجه به امکانات موجود، سادگی روش و به منظور دستیابی به اطلاعات کلی در مورد سختی، مقاومت، ظرفیت تغییرشکل، اثرات سخت‌شوندگی و غیره و همچنین به منظور ارزیابی رفتار لرزه‌ای سیستم مهاربندی کشویی، از آزمایش بارگذاری شبه استاتیکی مطابق دستورالعمل نشریه ATC-24 استفاده شد [۳۳].

طبق ضوابط مندرج در این نشریه، شش چرخه اول بارگذاری الاستیک بوده و مقدار تغییر مکان آنها کمتر از مقدار تغییر مکان حد جاری شدن δ_y اختیار شد. در این چرخه‌ها بار اعمالی به سیستم به صورت کنترل‌شونده توسط بار به نمونه‌ها وارد شد. در سه چرخه بعدی بارگذاری، بارگذاری‌ها به صورت کنترل‌شونده توسط تغییر مکان بوده و مقدار تغییر مکان ماکزیمم سیستم به δ_y محدود گردید. تا شروع چرخه شانزدهم بارگذاری‌ها در هر سه چرخه به اندازه δ_y افزایش یافت.

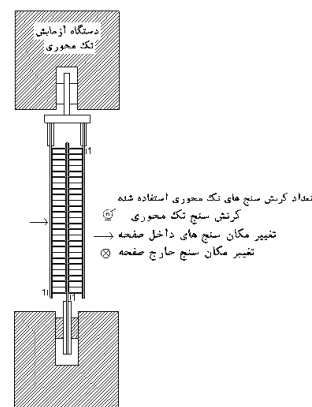
بعد از چرخه شانزدهم تعداد چرخه‌های با تغییر مکان مشابه به دو چرخه کاهش یافت. برای درک بهتر بارگذاری اعمالی به سیستم، پروتکل بارگذاری سیستم در شکل ۴ به تصویر کشیده شده است. طبق منحنی بار-تغییر مکان بدست آمده از آزمایش سیستم مهاربندی کشویی، مقدار تغییر مکانی که در آن اولین جاری‌شدگی عمده در سیستم اتفاق افتاده است به ترتیب برابر ۱/۳ میلی‌متر برای آزمایش اول و ۱/۸ میلی‌متر برای آزمایش دوم است. بر اساس پروتکل شرح داده شده، آزمایش‌های تا رسیدن به چرخه بارگذاری ۴۰ برای نمونه اول و چرخه بارگذاری ۴۴ برای نمونه دوم ادامه پیدا کرده است.

۵- رفتار لرزه‌ای سیستم مهاربندی کشویی

منحنی بار-تغییر مکان سیستم مهاربندی کشویی در شکل ۵ نشان داده شده است.

با توجه به اینکه طراحی دو نمونه با هدف مقایسه وضعیت کماتشی آنها صورت پذیرفته است، کلیه ابعاد و اندازه‌های دو نمونه مشابه یکدیگر انتخاب شده است. تنها تفاوت آنها در انتخاب ارتفاع ورق‌های جاذب انرژی بوده است. بنابراین می‌توان گفت که اختلاف اصلی نتایج آزمایشگاهی بدست آمده به خاطر همین مساله می‌باشد. به دلیل افزایش ارتفاع ورق‌های جاذب انرژی در نمونه دوم، مقاومت نهایی نمونه اول از نمونه دوم بیشتر بوده در حالیکه شکل‌پذیری آن از نمونه دوم کمتر می‌باشد.

برای آنکه مقدار تنش‌های پسماند بوجود آمده طی فرآیند جوشکاری نمونه‌ها به حداقل ممکن کاهش یابد، ورق‌های جاذب انرژی به شکل Z در سیستم مورد استفاده قرار گرفت. این ورق‌ها طی یک پاس جوشکاری به ورق‌های موازی و ورق‌های Z شکل مجاور خود متصل شدند.



شکل ۳: موقعیت قرارگیری کرنش‌سنج‌های تک محوری و تغییر مکان سنج‌ها در نمونه‌های آزمایش شده

Fig. 3. Location and direction of LVDT and strain gauges in tested specimens

به منظور افزایش قابلیت جذب انرژی از فولاد با مقاومت پایین در ورق‌های جاذب انرژی استفاده شد. مشخصات فولادهایی که در ساخت نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت و از طریق انجام آزمایش کشش استاندارد بدست آمد، در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات فولادهای مورد استفاده برای آزمایش نمونه‌ها

Table. 1. Steel specification of material used for testing specimens

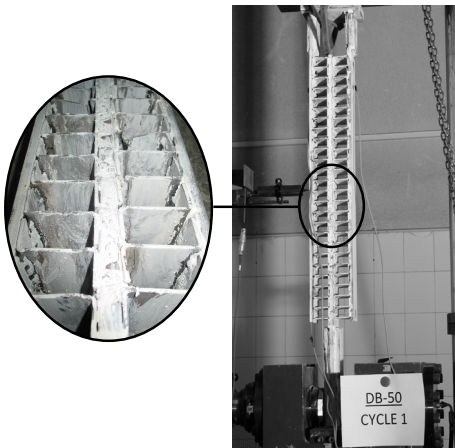
E (kN/mm)	F _y (N/mm ²)	نوع المان
۲۰۰	۲۰۰	ورق‌های جاذب انرژی
۲۰۰	۲۶۰	ورق‌های موازی

ارتفاع خالصی که در آزمایش‌های اول و دوم برای ورق‌های جاذب انرژی مورد استفاده قرار گرفته است به ترتیب برابر ۵۰ میلی‌متر و ۷۰ میلی‌متر انتخاب شد. با توجه به اینکه ضخامت ورق‌های فولاد نرم موجود در بازار ایران محدود به ۳ میلی‌متر است از این ضخامت برای ورق‌های جاذب

با تدبیر به کار گرفته شده در این سیستم مهاربندی، می توان بر مشکلات کمانشی سیستم های مهاربندی فائق آمد.

نمونه ای از جوشکاری های انجام گرفته بر روی این سیستم مهاربندی را می توان در شکل ۶ مشاهده نمود. در طول بارگذاری چرخه ای این سیستم، هیچگونه خرابی ای در اتصالات مشاهده نگردید. در چرخه های انتهایی بارگذاری نمونه اول که در آن ارتفاع ورق های جاذب انرژی کوچک تر انتخاب شده بودند به نحوی که مهاربند در آستانه کمانش قرار گیرد، سیستم در آستانه کمانش قرار گرفت و مشاهدات نشان می داد در صورتی که سیستم توانایی تحمل بار بیشتر را داشت، در آن کمانش به وقوع می پیوست (شکل ۶).

افت سختی و مقاومت در این سیستم مهاربندی که به دلیل تشکیل مفاصل پلاستیک در دو انتهای ورق های جاذب انرژی و پارگی این ورق ها بوده است دلیل توقف آزمایش های بوده است. مشاهدات بدست آمده موید این مطلب است که رفتار لرزه ای سیستم بسیار مطلوب بوده و شکل پذیری و جذب انرژی در آن بسیار بالا می باشد. به همین دلیل می توان تضمین نمود که با طراحی مناسب این سیستم مهاربندی به سادگی بتوان به عملکرد لرزه ای مطلوب دست پیدا نمود.

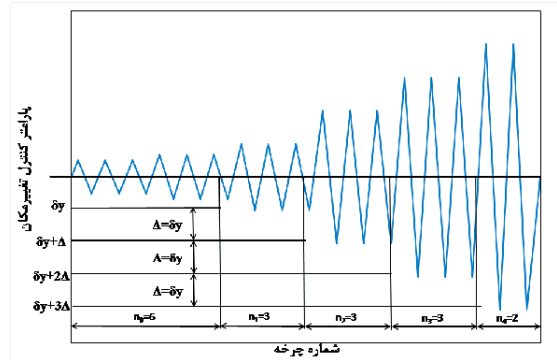


شکل ۶: سیستم مهاربندی کشویی در آزمایش اول

Fig. 6. DBS first specimen

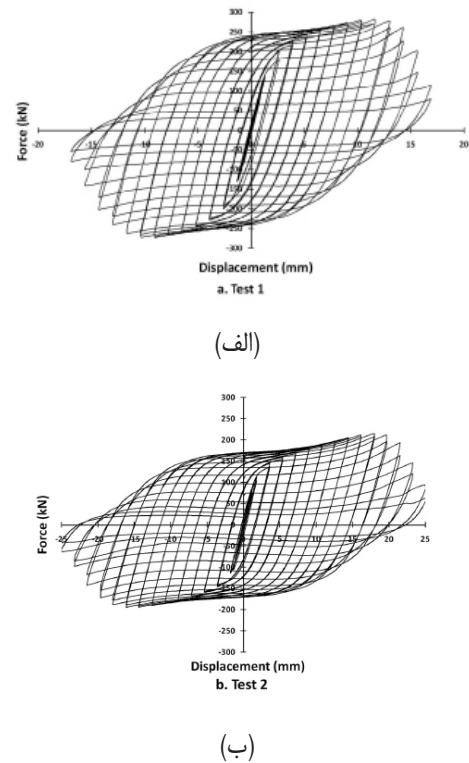
۶- بررسی تئوریک کمانش سیستم مهاربندی کشویی و مقایسه با نتایج آزمایش ها

این بخش از مقاله به بررسی رفتار کمانشی سیستم مهاربندی کشویی اختصاص داده شده است و فاکتورهای موثر بر این پدیده در این بخش مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته اند. بر اساس مبانی تئوریکی که در زمینه علم پایداری سازه ها موجود است، روابطی ارائه شده است که به نظر می رسد با حفظ حاشیه امنیت مناسب، عملکرد کشویی سیستم را تضمین نماید.



شکل ۴: پروتکل بارگذاری اعمالی به نمونه ها

Fig. 4. Loading protocol of ATC-24



شکل ۵: منحنی بار- تغییر مکان سیستم مهاربندی کشویی (الف) آزمایش اول (ب) آزمایش دوم

Fig. 5. Load-displacement curve of testing specimens for (a) specimen 1 and (b) specimen 2

همان گونه که مشاهده می گردد عملکرد یکسان سیستم در کشش و فشار بیان گر کارایی مناسب این سیستم مهاربندی بوده و نشان می دهد که

برای به تعویق افتادن وقوع کمانش کلی و هدایت آن به وقوع کمانش‌های موضعی که در فاصله مابین ورق‌های جاذب انرژی اتفاق می‌افتد می‌توان از روش مشابهی استفاده نمود. در ابتدای امر احتیاج به استفاده از ممان اینرسی‌های بسیار بزرگ برای ورق‌های موازی است. با توجه به اینکه استفاده از این ابعاد در سیستم امکان‌پذیر نبوده و به صرفه نیز نمی‌باشد و همچنین به دلیل غیر محتمل بودن وقوع چنین کمانشی در سیستم مهاربندی کشویی، می‌توان آن را از ملاحظات لازم برای طراحی سیستم مهاربندی کشویی حذف نمود.

قبل از ادامه بررسی‌ها در این زمینه ابتدا لازم است که فرضیاتی که در این راستا مورد استفاده قرار گرفته‌اند تشریح گردند. در این راستا شرایط لازم برای وقوع کمانش موضعی در فاصله مابین ورق‌های جاذب انرژی در شکل ۸ به تصویر کشیده شده است. در این شکل برای درک بهتر مساله، سیستم تا حد امکان ساده‌سازی شده است. پاره‌ای از فرضیات در نظر گرفته شده در این رابطه به این شرح ذیل می‌باشند:

- در سیستم مهاربندی کشویی بار محوری به صورت خطی با نزدیک شدن به تکیه‌گاه‌ها افزایش می‌یابد و مقدار بار بحرانی کمانشی که در این شرایط بدست می‌آید متفاوت با شرایطی است که بار به صورت نقطه‌ای به تکیه‌گاه‌ها وارد می‌شود. این مساله در محاسبات این بخش در نظر گرفته نشده است زیرا از دو طرف نامعادله حذف شده و تأثیری در نتایج نهایی بدست آمده نخواهد داشت.

- شرایط انتهایی ورق‌های موازی به صورت دو سر مفصل در نظر گرفته شده است ($k=1/0$).

- طول کلی ورق‌های موازی برابر حاصل ضرب فاصله ورق‌های جاذب انرژی در تعداد ورق‌های موجود در یک سمت ورق موازی میانی اختیار شده است.

- ورق‌های جاذب انرژی دارای سختی و مقاومت کافی برای مهار جانبی ورق‌های موازی می‌باشند.

بررسی شرط لازم برای وقوع کمانش موضعی در سیستم مهاربندی کشویی:

در شکل ۸، EAP ورق‌های جاذب انرژی Energy Absorption Side Parallel Plates (Plates)، ورق‌های موازی کناری، MP ورق موازی میانی (Middle Parallel Plate)، I_{SP} ممان اینرسی ورق‌های موازی کناری (mm^4)، I_{MP} ممان اینرسی ورق موازی میانی mm^4 ، مدول الاستیسیته فولاد (kN/mm^2) ، L فاصله ورق‌های جاذب انرژی از یکدیگر (mm)، k ضریب طول موثر کمانش و n تعداد ورق‌های جاذب انرژی موجود در یک طرف ورق موازی میانی است. در صورتیکه شرایط وقوع کمانش موضعی در ورق‌های موازی کناری مورد بررسی قرار گیرد، رابطه ۳ حاصل می‌شود:

$$I_{MP} = n^2 - 2 I_{SP} \quad (3)$$

برای بدست آوردن نامعادله کمانشی سیستم مهاربندی کشویی، از میانی‌ای که برای محاسبه بار بحرانی کمانش قاب‌های چند دهانه در یک طبقه خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد استفاده شده است. در این قاب‌ها برای جلوگیری از وقوع کمانش کلی و ناپایداری جانبی، مجموع بار محوری اعمال شده به ستون‌ها در یک طبقه می‌بایست کمتر از مجموع بار بحرانی کمانشی ستون‌ها در آن تراز اختیار شوند (نامعادله ۱) [۳۴].

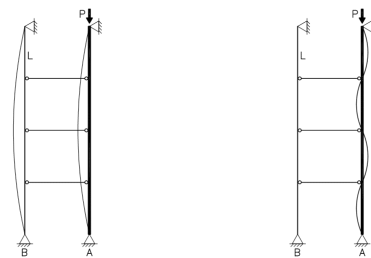
$$\sum P_{story \ column \ load} \leq \sum P_{cr} \quad (1)$$

بار بحرانی کمانش ستون‌ها در این نامعادله با استفاده از ضریب طول موثر کمانشی که با فرض انتقال جانبی ستون‌ها بدست می‌آید محاسبه می‌گردد.

برای نمونه استفاده از این راه کار برای بررسی کمانش قابی که در شکل ۷ نشان داده شده است نشان می‌دهد که در صورتیکه ممان اینرسی ستون B بزرگ‌تر از ۱۵ برابر ممان اینرسی ستون A اختیار گردد، ستون B در حکم مهار جانبی برای ستون A محسوب شده و جلوی وقوع کمانش در مود اول آن را می‌گیرد [۳۴].

$$\frac{\pi^2 EI_A}{4L^2} + \frac{\pi^2 EI_B}{4L^2} = \frac{\pi^2 EI_A}{L^2} \rightarrow I_B = 15I_A \quad (2)$$

همان‌گونه که در معادله ۲ نیز مشاهده می‌گردد، مقدار بدست آمده با فرض شرایطی حاصل شده است که ستون‌های قاب دو سر مفصل بوده و طولی برابر $4L$ داشته باشند.



شکل ۷: بررسی پدیده کمانش در قاب نمایش داده شده
Fig. 7. Using ΣP concept for system buckling or Buckling investigation in selected frame

[۳۵].

همچنین فرض می‌گردد که ورق‌های موازی با استفاده از مهارهای جانبی که همان ورق‌های جاذب انرژی می‌باشند به یکدیگر متصل شده‌اند. در این شرایط لازم است که ورق‌های جاذب انرژی دارای سختی و مقاومت کافی برای مهار جانبی ورق‌های موازی باشند. برای فراهم ساختن چنین شرایطی در ورق‌های جاذب انرژی، از مقاومت و سختی حداقلی که در پیوست ۶ بخش ۶-۲-۱ آئین‌نامه فولاد آمریکا برای مهار جانبی ستون‌ها مطرح شده است استفاده شده است [۳۶]. بر این اساس مقدار حداقل مقاومت محوری مورد نیاز برای ورق‌های جاذب انرژی طبق نامعادله ۴ محاسبه می‌گردد.

$$P_{rEAP} \geq 0.004P_{rDBS} \quad (4)$$

در این رابطه P_{rEAP} نیروی محوری مورد نیاز ورق‌های جاذب انرژی (kN) و P_{rDBS} نیروی محوری مورد نیاز سیستم مهاربندی کشویی (kN) است. با توجه به اینکه مقدار نیروی محوری ورق موازی میانی برابر ۲۵۰ kN در آزمایش اول و ۲۰۰ kN در آزمایش دوم است (شکل ۵)، به همین دلیل حداقل نیروی محوری مورد نیاز ورق‌های جاذب انرژی در آزمایش اول می‌بایست برابر ۱ kN و در آزمایش دوم برابر ۰/۸ kN اختیار گردد.

برای بدست آوردن مقاومت کماتشی ورق‌های جاذب انرژی فرض می‌گردد که این ورق‌ها به صورت مفصلی به ورق‌های موازی متصل شده باشند، در این شرایط مقاومت کماتشی ورق‌های مذکور طبق رابطه ۵ محاسبه می‌گردد.

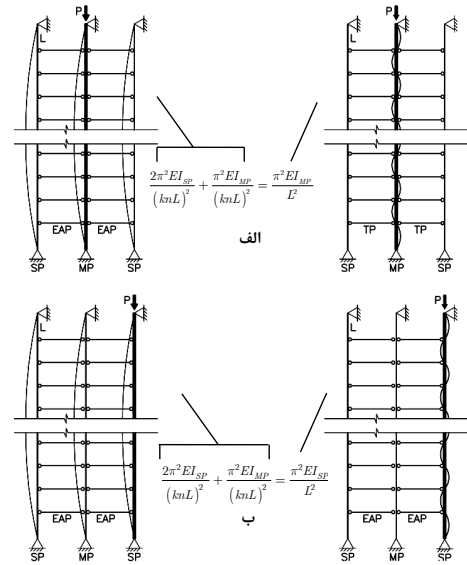
$$P_{EAP} = \frac{\pi^2 EI_{EAP}}{h^2} \quad (5)$$

که در این رابطه h ارتفاع خالص ورق‌های جاذب انرژی (mm) و P_{EAP} مقاومت کماتشی ورق‌های مذکور (kN) می‌باشند. با جایگذاری ابعاد نمونه‌ها در معادله ۵ مقدار مقاومت کماتشی آنها به ترتیب برابر ۱۷۸ و ۹۱ kN بدست می‌آید که بسیار بیشتر از مقاومت محوری مورد نیاز است.

مقدار سختی حداقل مورد نیاز ورق‌های جاذب انرژی (β_{EAP}) مطابق آنچه در پیوست ۶ بخش ۶-۲-۱ آئین‌نامه فولاد آمریکا آمده است از نامعادله ۶ محاسبه می‌گردد.

$$\beta_{EAP} \geq \frac{1}{\phi} \left(\frac{2P_{rDBS}}{h} \right) \quad (6)$$

در این رابطه ϕ بر اساس آئین‌نامه فولاد آمریکا برابر ۰/۷۵ فرض می‌گردد. به این ترتیب حداقل سختی مورد نیاز نمونه اول برابر ۱۳/۳ و در نمونه دوم برابر ۷/۶۲ kN/mm بدست می‌آید که از مقدار سختی



شکل ۸: الف) کمانش ورق موازی میانی ب) کمانش ورق‌های موازی کناری

Fig. 8. a) Buckling of middle parallel plate; b) buckling of side parallel plates

با توجه به اینکه تعداد ورق‌های جاذب انرژی در سیستم مهاربندی کشویی زیاد می‌باشد وقوع کمانش در حد فاصل ورق‌های جاذب انرژی غیر محتمل بوده و می‌توان آن را از کنترل‌های لازم برای طراحی سیستم مهاربندی کشویی خارج نمود. در نمونه‌های آزمایش شده از ۲۷ ورق برای این اعضا استفاده شده است. بر اساس رابطه ۳ وقوع کمانش موضعی در ورق‌های موازی کناری هنگامی محتمل می‌گردد که ممان اینرسی ورق موازی میانی ۷۲۷ برابر بزرگ‌تر از ممان اینرسی ورق موازی کناری اختیار گردد که همان‌گونه که عنوان شد وقوع چنین امری در سیستم بعید به نظر می‌رسد.

با تکمیل مطالعه‌های مربوط به کمانش موضعی، احتمال وقوع کمانش کلی در سیستم مهاربندی کشویی مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای بررسی وضعیت کمانش کلی سیستم و بدست آوردن نامعادله کمانشی آن از راه کاری مشابه راه کار ارائه شده برای قاب‌های ساختمانی استفاده می‌گردد. به این ترتیب نامعادله کمانشی سیستم فوق، با این فرض بدست می‌آید که مجموع بار محوری اعمالی به سیستم مهاربندی کمتر از مجموع بار بحرانی کمانشی هر یک از ورق‌های موازی به تنهایی است.

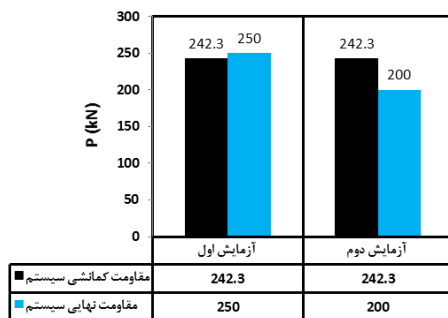
نکته مهمی که در بدست آوردن رابطه فوق می‌بایست مد نظر قرار گیرد این است که به دلیل وجود ورق‌های جاذب انرژی در این سیستم مهاربندی، بار محوری به صورت خطی با نزدیک شدن به تکیه‌گاه‌ها افزایش می‌یابد. به این ترتیب و با استفاده از کتاب‌های آنالیز پایداری مشاهده می‌گردد که بار بحرانی کمانشی که در این شرایط بدست می‌آید سه برابر مقدار بار بحرانی کمانشی آن در شرایطی است که بار نقطه‌ای به انتهای عضو وارد می‌گردد

هر چند که نقش ورق‌های جاذب انرژی در تعیین بار بحرانی کمانش سیستم مهاربندی کشویی کم رنگ است لیکن ارتفاع این ورق‌ها مهم‌ترین عاملی است که مقاومت نهایی سیستم را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد و برای جلوگیری از وقوع کمانش کلی، مقاومت نهایی سیستم می‌بایست کمتر از مجموع بار بحرانی کمانش هر یک از ورق‌های موازی به تنهایی گردد. به عبارت ساده‌تر:

$$P_u \leq \sum P_{cr} \quad (10)$$

در این رابطه $\sum P_{cr}$ مجموع بار بحرانی کمانش هر یک از ورق‌های موازی (kN) و P_u ظرفیت باربری نهایی سیستم مهاربندی کشویی (kN) است که مقدار آن را می‌توان از روی منحنی بار-تغییرمکان بدست آمده از آزمایش‌های برداشت نمود.

نمودارهای بار-تغییرمکان بدست آمده از آزمایش‌ها نشان می‌دهند که مقدار ظرفیت باربری نهایی سیستم مهاربندی کشویی در آزمایش‌های اول و دوم به ترتیب برابر ۲۵۰ kN و ۲۰۰ kN است که در حدود ۳ درصد بیشتر و ۱۷ درصد کمتر از زمانی است که سیستم بیشترین مقدار بار وارد بر خود را تجربه می‌کند (شکل ۹).



شکل ۹: مقایسه مقاومت کمانشی و مقاومت نهایی سیستم در آزمایش‌های اول و دوم

Fig. 9. Buckling strength and ultimate strength comparison in two tested specimens

شواهد عینی بدست آمده از آزمایش‌ها می‌تواند مهر تاییدی بر درستی روابط ارائه شده باشد. مستندات بدست آمده از آزمایش‌ها نشان می‌دهند که پیش از آنکه نمونه اول حداکثر ظرفیت باربری خود را تجربه کند، سیستم در آستانه کمانش قرار گرفته است، در حالیکه در آزمایش دوم با حفظ حاشیه ایمنی مناسب، کوچک‌ترین نشانی از وقوع کمانش در سیستم مهاربندی مشاهده نگردیده است.

بنابراین به عنوان یک جمع‌بندی بر مباحث ارائه شده در این مقاله، استفاده از روابط کلاسیک ارائه شده برای طراحی کمانشی این سیستم مهاربندی توصیه می‌شود.

محوری ورق‌های جاذب انرژی در آزمایش‌های اول (۱۲۰۰ kN/mm) و دوم (۸۵۷/۱ kN/mm) بسیار کمتر است. با توجه به حاشیه ایمنی مناسبی که ورق‌های جاذب انرژی برای مهار جانبی ورق‌های موازی ایجاد می‌نمایند می‌توان اطمینان حاصل نمود که این ورق‌ها همواره تکیه‌گاه جانبی برای ورق‌های موازی محسوب می‌گردند.

مطابق توضیحاتی که ارائه شد، برای وقوع کمانش کلی در سیستم مهاربندی کشویی سه ورق موازی می‌بایست به صورت هم‌زمان تغییر شکل داده و بار اعمالی به سیستم می‌بایست کمتر از مجموع بار بحرانی کمانش هر یک از ورق‌های موازی به تنهایی گردد.

$$\sum P \leq \sum P_{cr} \quad (7)$$

با توجه به شرایط انتهایی ورق‌های موازی که در آزمایش مورد استفاده قرار گرفته است از ضریب طول موثر کمانش عضو یک سر مفصل-یک سر گیردار استفاده شده است ($k=0.7$). به این ترتیب نامعادله ۷ به فرم معادله ۸ بازنویسی شده است.

$$\frac{P}{2} + P + \frac{P}{2} \leq \frac{3\pi^2 EI_{MP}}{(0.7L')^2} + 2 \times \frac{3\pi^2 EI_{SP}}{(0.7L')^2} \quad (8)$$

$$P_{cr} = 1.5 \frac{\pi^2 EI_{MP}}{(0.7L')^2} + 3 \frac{\pi^2 EI_{SP}}{(0.7L')^2} \quad (9)$$

در معادله فوق L' طول ورق‌های موازی (mm) است. لازم به ذکر است که ضریب سه موجود در معادلات فوق مربوط به نحوه توزیع نیرو و ورق‌های جاذب انرژی است.

در آزمایش‌های انجام گرفته بر روی سیستم مهاربندی کشویی در نمونه اول سیستم در آستانه کمانش قرار گرفت. در صورتیکه ابعاد مورد استفاده در نمونه‌های اول و دوم در معادله ۹ جایگزین گردد، مقدار بار بحرانی کمانش سیستم مطابق مطابق معادله ۱۰ محاسبه می‌گردد:

$$P_{cr} = 1.5 \times \frac{\pi^2 \times 200 \times 100 \times 12^3 / 12}{(0.7 \times 880)^2} + 3 \times \frac{\pi^2 \times 200 \times 100 \times 10^3 / 12}{(0.7 \times 880)^2} = 242.3 \text{ kN}$$

مشاهده می‌شود که با توجه به اینکه نقش ورق‌های جاذب انرژی در کمانش سیستم مهاربندی کشویی، تأمین سختی مورد نیاز برای مهار جانبی ورق‌های موازی است، به همین دلیل این ورق‌ها به صورت مستقیم نقشی را در تعیین بار بحرانی کمانش سیستم مهاربندی کشویی ایفا نمی‌کنند و به همین دلیل مقدار بار بحرانی کمانش سیستم مهاربندی کشویی در دو نمونه آزمایش شده با یکدیگر برابر است.

Thin-Walled Structures, (1999) 33(1): 69–82.

۷- نتیجه گیری

- [5] M. Wakabayashi, Design of Earthquake-resistant Buildings, New York: McGraw Hill (1986).
- [6] A. Astaneh-Asl, S.C. Goel, Cyclic IN-Plane Buckling of Double Angle Bracing, ASCE Journal of Structural Engineering, (1984) 110(9): 2036–2055.
- [7] R.G. Black, W.A. Wenger, E.P. Popov, Inelastic Buckling of Steel Struts Under Cyclic Load Reversal, Berkeley, University of California, Earthquake Engineering Research Center, California (1980).
- [8] A.K. Zayas, S.A. Mahin, Popov EP., Cyclic Inelastic Behavior of Steel Offshore Structures, Univ. of California, Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, California (1980).
- [9] A.K. Jain, S.C. Goel, Hysteresis Models for Steel Members Subjected to Cyclic Buckling or Cyclic End Moments and Buckling, University of Michigan, Ann Arbor, Mich (1978).
- [10] D.R. Sherman, H. Erzurumlu, Ultimate Capacity of Tubular Beam-columns, National Structural Engineering Conference, ASCE (1976).
- [11] J. Dewolf, J. Pelliccione, Cross-bracing Design. J Struct Div, ASCE, (1979) 105(7): 1379–1391.
- [12] A.A. El-Tayem, S.C. Goel, (First Quarter). Effective Length Factor for the Design of X-bracing Systems, AISC Engineering Journal, (1976) 41–45.
- [13] S. Kitipornchai, D. Finch, Stiffness Requirements for Cross Bracing, J Struct Eng, ASCE, (1976) 112(12): 2702–2707.
- [14] S. Stoman, Stability Criteria for X-bracing System, J Eng. Mech., ASCE, (1988) 114(8): 1426–1434.
- [15] S. Stoman, Effective Length Spectra for Cross Bracing, J Struct. Eng., ASCE, (1989) 115(12): 3112–3122. No.3.
- [16] D. Wang, A. Boreasi, Theoretical Study of Stability Ncriteria for X-bracing System, J Eng Mech., ASCE, (1992) 118(7): 1357–1364.
- [17] P. Ebadi, S. Sabouri-Ghomi, Effects of Steel Grade on Seismic Benefits of X-Braced Frames, 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid - Macedonia, Aug. 30 – Sep. 3, (2010).
- [18] A. Davaran, Effective Length Factor for Discontinuous X-Bracing Systems, Journal of Engineering Mechanics, (2001) 127(2): 106–112.
- [19] D. Jurokovski, M. Petkovski, Z. Rakicevic, Energy absorbing in regular and composite steel frame structures, Engineering Structures, Vol.17(5), June (1995) 319-333.
- [20] D. Jurokovski, B. Simenov, V. Trajovski, Cyclic tests of composite steel frames with energy absorbing elements, Proceeding of International Conference on steel and

با توجه به توضیحات ارائه شده می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- با طراحی مناسب سیستم مهاربندی کشویی می توان اطمینان حاصل نمود که از وقوع هر گونه کمانش کلی در سیستم مهاربندی کشویی جلوگیری به عمل می آید.

- در سیستم مهاربندی کشویی ورق های جاذب انرژی همواره سختی و مقاومت کافی را برای مهار جانبی ورق های موازی فراهم می نمایند و به جز آن نقش دیگری را در محاسبه بار بحرانی کمانش سیستم مهاربندی ایفا نمی نمایند. به عبارت ساده تر بار بحرانی کمانش سیستم مهاربندی با استفاده از مشخصات هندسی ورق های موازی تعیین می گردد.

- جهت جلوگیری از وقوع کمانش کلی در سیستم مهاربندی کشویی، مقاومت نهایی سیستم می بایست کمتر از مقاومت کمانشی آن گردد. هر چند که ورق های جاذب انرژی با تامین حداقل سختی مورد نیاز، نقش دیگری را در تعیین مقاومت کمانشی سیستم ایفا نمی کنند ولی با توجه به اینکه مقاومت نهایی سیستم با استفاده از ابعاد مورد استفاده برای ورق های جاذب انرژی تعیین می گردد، به همین دلیل مشخصات هندسی مورد استفاده برای این ورق ها به صورت غیرمستقیم رفتار کمانشی سیستم را تحت الشعاع خود قرار می دهد.

- نتایج بدست آمده نشان می دهند که روابطی که برای کنترل کمانش مهاربندها در این مقاله ارائه شده اند، تطابق خوبی با نتایج آزمایش های صورت گرفته بر روی سیستم مهاربند کشویی دارند و با ضریب اطمینان بالایی می توان از آنها در مقاصد طراحی استفاده نمود. نتایج مطالعه های انجام گرفته نشان می دهند که روابطی که برای بدست آوردن مقاومت کمانشی سیستم مهاربندی کشویی پیشنهاد شده اند، مقاومت کمانشی سیستم را به ترتیب در حدود ۳ درصد بیشتر و ۱۷ درصد کمتر از مقاومت نهایی قابل تحمل سیستم در آزمایش های اول و دوم ارائه می دهند که این مساله با مشاهدات عینی بدست آمده در طول آزمایش نیز تطابق مناسبی دارد.

مراجع

- [1] J.M. Goggins, B.M. Broderick, A.Y. Elghazouli, A.S. Lucas, Behavior of Tubular Steel Members under Cyclic Axial Loading, Journal of Constructional Steel Research, (2006) 62(1-2): 121–131.
- [2] B. Shaback, T. Brown, Behavior of Square Hollow Structural Steel Braces with End Connections under Reversed Cyclic Axial Loading, Canadian Journal of Civil Engineering, (2003) 30(4): 745–753.
- [3] M. Elchalakani, X.L. Zhao, R. Grzebieta, Tests of Cold Formed Circular Tubular Braces under Cyclic Axial Loading, ASCE Journal of Structural Engineering, (2003) 129(4): 507–514.
- [4] M. Boutros, Cyclic Behavior of Partly Plastic Pinned Circular Tubes, II: Testing and Verification of the Model.

- [28] B. Payandehjoo, S. Sabouri-Ghomi, P. Ebadi, Seismic Behavior of X-Shaped Drawer Bracing System (DBS) and X-Braced Frames with Heavy Central Core, *Journal of Earthquake and Tsunami*, p.1650004, (2016).
- [29] M.G. Gray, C. Christopoulos, J.A. Packer, Case Steel Yielding Fuse for Concentrically Braced Frames, *Proceeding of the 9th U.S. National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering*, Toronto, Canada, 25-29 July (2010).
- [30] M.G. Gray, C. Christopoulos, J.A. Packer, Full-Scale Testing of the Cast Steel Yielding Brace System, *Proceeding of the 7th International Conference STESSA*, Santiago, Chile, 9-11 January (2012).
- [31] ATC-24., *Guidelines for cyclic seismic testing of components of steel structures*. Redwood City, CA, USA, Applied Technology Council (1992).
- [32] K.C. Tsai, J.W. Li, C.P. Hong, H.W. Chen, Y.F. Su, Welded Steel Triangular-Plate Device for Seismic Energy Dissipation, *ATC-17-1 Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control*, San Francisco, CA, (1993) 687-698.
- [33] S. Garivani, A.A. Aghakoochak, S.H. Shahbeyk., *Introducing Comb-Teeth Yielding Metallic Dampers*, *Modares Civil Engineering journal*, (2015) 199-211 (In Persian)
- [34] AISC. American Institute of Steel Construction, *ANSI/AISC 360-10, Specification for Structural Steel Building*, Chicago (2010).
- [35] <http://www.wynjade.com/aiscfall11/webinarCEU>
- [36] S.P. Timoshenko, J.M. Gere, *Theory of Elastic Stability*, Second Edition, McGraw-Hill, New York (1961).
- [37] B. Payandehjoo, *An Improvement of Seismic Performance of Yielding Damped Braced Core*, Ph.D. Thesis, Khaje Nasir Toosi University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Tehran-Iran (2015) (In Persian)
- Aluminium structures, Vol. composite steel structures, Cardiff, UK, 8-10 July (1987) 154-161, Elsevier Pub.
- [21] V. Ciampi, S.A. Ferreti, Energy dissipation in buildings using special bracing systems, *Proceeding of 9th European Conference on Earthquake Engineering*, Vol.3, Moscow, (1990) 9-18.
- [22] V. Ciampi, S.A. Ferreti, Energy dissipation in buildings using special bracing systems, *Proceeding of 10th Earthquake Conf*, (1990).
- [23] A. Vulcano, Design of damped steel bracing systems for seismic control of framed structures, *10th European Conference on Earthquake Engineering Duma(ed)*, (1995) 1567-1572.
- [24] S. Sabouri-Ghomi, A. Roufegarinejad, *Nonlinear Behavior of Yielding Damped Braced Frame*, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, (2004) 14: 37-45.
- [25] M. Saberi, *Investigation of Modification factor of Yielding Damped Braced Frame with Plate in Core*, M.S. Thesis, Khaje Nasir Toosi University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Tehran-Iran, (2000) (In Persian)
- [26] S. Sabouri-Ghomi, M. Saneipour, *Hysteresis Behavior of Central Yielding Damped Braced Frames with Structural and Easy-going-steel*, 3rd national congress on Civil Engineering, Tabriz University, Tabriz-Iran, May 1-3 (2007a).
- [27] S. Sabouri-Ghomi, M. Saneipour, *Nonlinear Behavior of Central Yielding Damped Braced Frames with Different Percentage of Opening by Using Structural and Easy-going-steel*, 5th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, 328 earthquake engineering and engineering vibration vol.11. Tehran-Iran, May (2007b).

Please cite this article using:

S. Sabouri-Ghomi, B. Payandehjoo, Theoretical and Experimental Study of Parameters Influencing the Buckling Behavior of the Drawer Bracing System, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(6) (2019) 1093-1102.

DOI: 10.22060/ceej.2018.10709.4922

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

