

افزودن نبشی فولادی به مهاربند شکافدار برای بهبود عملکرد لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده همگرا

سید مهدی زهرایی^۱، عبدالله چراغی^{۲*}

۱- استاد قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌های عمرانی دانشکده عمران دانشگاه تهران

۲- دانشجوی دکترای عمران-سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک

amircheraghi62@gmail.com

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۸/۱۸]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۴/۶/۲۵]

چکیده- رفتار لرزه‌ای مهاربندهای همگرا همواره مورد توجه پژوهشگران مختلف قرار گرفته است. هزینه نسبتاً کم و سهولت و سرعت در اجرا سبب استفاده گسترده از اینگونه مهاربندها شده است لیکن تجارب زلزله‌های گذشته حاکی از رفتار نامناسب، عدم توانایی در استهلاک انرژی بالا و نیز ضعف شکل‌پذیری آنها به واسطه وقوع کماتش در عضو فشاری است. در این مقاله با ارائه راهکار جدیدی ناشی از ترکیب نبشی فولادی و مقطع کاهش یافته در عضو مهاربند، سعی در بهبود عملکرد لرزه‌ای و تعویق در کماتش مهاربند شده است. تنش‌ها و تغییرمکان‌های سازه با استفاده از تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی و نیز تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی به وسیله نرم‌افزار اجزای محدود ABAQUS ارزیابی شده است. نتایج حاکی از بهبود عملکرد لرزه‌ای و افزایش شکل‌پذیری مهاربند هم‌محور داشته که با توجه به آسانی اجرای آن می‌تواند به عنوان سیستم مستهلک‌کننده انرژی زلزله به کار رود. تمرکز تنش‌ها در نبشی فولادی حاکی از آن است که بخشی از انرژی ورودی به سازه با ورود به مرحله غیرخطی و تشکیل مفاصل پلاستیک در این عضو مستهلک شده و از ورود سایر اعضای اصلی سازه به مرحله غیرخطی و همچنین کماتش اعضای مهاربندی جلوگیری خواهد شد. علاوه بر این مقایسه منحنی‌های هیستریزس نمونه پیشنهادی با مهاربند معمولی گویای رفتار متقارن و پایدارتر بوده و با توجه به رفتار فیوز مانند مهاربند شکافدار تا تغییرمکان حدود ۲ سانتی‌متر نیز افت عملکردی در آن دیده نمی‌شود، لیکن مهاربند معمولی در تغییرمکان چرخه‌ای حدود ۱ سانتی‌متر دچار کماتش شده و افت عملکرد آن مشهود است. همچنین عضو پیشنهادی موجب کاهش سختی سیستم و به تبع آن کاهش در میزان نیروی ورودی به سازه و برش پایه قاب شده است.

واژگان کلیدی: مهاربند شکافدار- نبشی فولادی- تحلیل استاتیکی و دینامیکی غیرخطی- استهلاک انرژی- شکل‌پذیری.

۱- مقدمه


مدنظر پژوهشگران قرار گرفته است. امکان استفاده از نوعی اتصالات مفصلی خاص به وسیله تیرکا و همکاران [۱] ارائه شد. نتایج نشان از بهبود عملکرد لرزه‌ای مهاربند با تکیه بر تمرکز مفاصل پلاستیک در اتصالات و الاستیک ماندن رفتار عضو اصلی مهاربند داشت. در بررسی دیگر، پژوهش مالک [۲] منجر به ارائه گونه‌ی نوینی از میراگرهای هیستریزس به صورت حلقه فولادی با شکل‌پذیری مناسب شد. همچنین کافی و همکاران [۳] مطالعات عددی و آزمایشگاهی استفاده از المان لوله برای افزایش شکل‌پذیری و بهبود عملکرد مهاربندهای همگرا را ارزیابی کردند.

رفتار لرزه‌ای مهاربندهای همگرا به طور عمده مورد توجه پژوهشگران مختلف قرار گرفته و به یکی از رایج‌ترین موضوعات مهندسی زلزله تبدیل شده است. هزینه کم، آسانی و سرعت در اجرا سبب استفاده گسترده از اینگونه مهاربندها شده است لیکن تجارب زلزله‌های گذشته حاکی از رفتار نامناسب، عدم توانایی در استهلاک انرژی بالا و نیز ضعف شکل‌پذیری آنها به واسطه وقوع کماتش در عضو فشاری بوده که ظهور ایده استفاده از فیوزها و تمرکز خسارت در آنها برای جلوگیری از آسیب به سایر اعضای اصلی به عنوان راهکاری مناسب

بود. در روش تنش مجاز آیین‌نامه طراحی ساختمان‌های فولادی ایران [۴] و طبق بند ۱۰-۱-۵-۳-ب، ضریب اطمینان اعضای خمشی ۱/۶۶ در نظر گرفته شده است. پس با توجه به مورد گفته شده و تقسیم بار کمانشی مقطع ناودانی بر ضریب اطمینان مذکور، تعیین نمره مناسب نبشی برای حصول رفتار مناسب و جلوگیری از کمانش عضو اصلی مهاربند انجام می‌شود. به نظر می‌رسد لحاظ ضریب گفته شده موجب ایجاد حاشیه اطمینان مناسب برای حصول رفتار شکل‌پذیر مقطع و جلوگیری از بروز کمانش غیرالاستیک در نیروهای پایین‌تر خواهد بود.

در واقع ظرفیت خمشی پلاستیک نبشی باید کمتر از تفاوت بار کمانشی مهاربند و ظرفیت تسلیم آن در طول شیار انتخاب شود تا نقش فیوز را اجرا نماید.

$$F = \frac{\pi^2 EA}{K^2} \longrightarrow P < F \quad (1)$$



$$\sigma = \frac{M}{S} \quad (2)$$

با استفاده از بار کمانشی عضو اصلی مهاربند طبق جدول (۱) و تصویر نیرو در جهت عمود بر بال نبشی، اساس مقطع مورد نیاز برای طراحی سایز و تعداد نبشی بر اساس جدول (۲) قابل محاسبه خواهد بود. (L طول نبشی بر حسب سانتیمتر)

جدول (۱): محاسبه بار کمانش مقاطع پرکاربرد در مهاربندهای همگرا

Section	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	Critical buckling (kN) load
2UNP8	212	316	(4.39 x 10 ⁷)/L ²
2UNP10	412	480	(8.53 x 10 ⁷)/L ²
2UNP12	728	775	(15.07 x 10 ⁷)/L ²
2UNP14	1210	1085	(22.47 x 10 ⁷)/L ²
2UNP16	1850	1575	(32.61 x 10 ⁷)/L ²
2UNP18	2700	2298	(47.58 x 10 ⁷)/L ²
2UNP20	3820	3009	(62.3 x 10 ⁷)/L ²

Table.1. Buckling load for common double brace sections

پژوهشهای زیادی برای بهبود عملکرد لرزه‌ای این سیستم باربر جانبی همواره در حال توسعه بوده و ایده‌هایی مانند روش ارائه شده در این مقاله رو به گسترش است. لازم به گفتن است که با توجه به بررسی تاثیر ایجاد شیار روی عضو مهاربند در پژوهشهای معدود انجام شده لیکن استفاده از نبشی فولادی در ترکیب با مقطع کاهش یافته در جان مقطع ناودانی به عنوان عضو موثر در استهلاک انرژی و افزایش شکل‌پذیری مهاربند همگرا تاکنون بررسی نشده و به وسیله‌ی مولفین در این مقاله ارائه شده است. علاوه بر این مزیت سیستم پیشنهادی در عملکرد شکل‌پذیر، اجرای آسان، کم‌هزینه و با استفاده از مصالح در دسترس بوده که در ادامه ارزیابی خواهد شد.

۲- دیدگاه کلی پژوهش

با بررسی انجام گرفته روی رفتار مهاربندهای هم‌محور ملاحظه می‌شود که شکل‌پذیری و عملکرد لرزه‌ای آنها به شدت تحت تاثیر رفتار عضو فشاری بوده و کاهش شدید سختی و مقاومت پس از کمانش المان فشاری سبب افت محسوس عملکرد آن در بارگذاری چرخه‌ای می‌شود. بنابراین اتخاذ راهکاری برای جلوگیری از کمانش عضو و یا به تاخیر انداختن آن سبب بهبود شکل‌پذیری آن خواهد شد. در این مقاله با استفاده از ظرفیت خمشی نبشی فولادی به عنوان راهکاری اجرایی و در دسترس، سعی در اصلاح رفتار مهاربندهای همگرا شده است. ظرفیت خمشی نبشی که متاثر از ابعاد و ضخامت مقطع آن است به گونه‌ای انتخاب شده که کمتر از ظرفیت کمانشی عضو فشاری باشد و در عمل احتمال وقوع کمانش در عضو اصلی منتفی شود. تغییر زاویه نبشی تحت بارگذاری چرخه‌ای سبب اتلاف انرژی و تمرکز خسارت در این ناحیه شده و در صورت طراحی و اجرای مناسب، متضمن رفتار مناسب‌تر قاب خواهد بود.

برای انتخاب صحیح نمره نبشی لازم است که در ابتدا ظرفیت کمانشی عضو مهاربند محاسبه و سپس ضخامت و عرض نبشی محاسبه شود. در پایان با یافتن بار کمانشی مقطع ناودانی و با بهره‌گیری از توصیه‌های آیین‌نامه‌های ساختمانی قادر به محاسبه اساس مقطع مورد نیاز نبشی مطابق فرمول (۲) خواهیم

همان‌گونه که در شکل (۲) ملاحظه می‌شود، اتصال نبشی فولادی به مهاربند به وسیله جوش گوشه طرفین لبه‌ها انجام می‌شود. از لحاظ مسائل اجرایی به دلیل طول نسبتاً کوتاه نبشی، امکان انجام جوشکاری دور تا دور فراهم می‌باشد. انتخاب طول و بعد جوش با توجه به بیشینه نیروی قابل انتظار محاسبه می‌شود.

جدول (۲): نیروی مجاز برای مقاطع مختلف نبشی

section	Allowable force (kN)
UNP8	0.3 L
UNP10	0.38 L
UNP12	0.45 L
UNP14	0.53 L
UNP16	0.6 L
UNP18	0.7 L
UNP20	0.8 L

Table.2. Allowable force of the angle sections

شکل ۳ نمونه‌های دوم تا چهارم

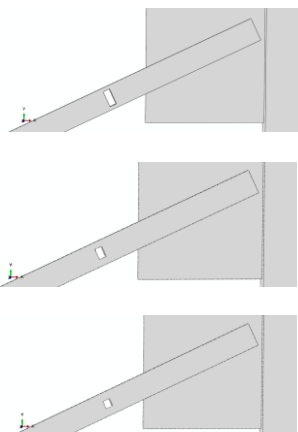


Fig.3. Samples 2, 3 & 4

در این پژوهش ۷ مدل مهاربند قطری به شرح جدول (۳) آزمایش شد. در کلیه نمونه‌ها مقطع مهاربند از ترکیب ۲ پروفیل ناودانی نمره ۱۴ به عنوان مقطعی پرکاربرد و متداول در سازه به صورت قوطی شکل انتخاب شد. برای بررسی رفتار لرزه‌ای مهاربند معمولی در بارگذاری چرخه‌ای، در نمونه اول مهاربند

با توجه به اعداد جدول (۲) مشاهده می‌شود که ظرفیت خمشی نبشی‌های موجود در بازار پایین بوده و قادر به تامین ظرفیت خمشی مورد نیاز نیست، پس دو راهکار می‌تواند در دستور کار قرار گیرد:

اول آنکه از مقاطع نورد شده با ضخامت بیشتر استفاده گردد که با توجه به عدم دسترسی گسترده به اینگونه مقاطع هزینه آن بالا خواهد بود.

گزینه دوم در کاهش ظرفیت محوری مقطع اصلی مهاربند و جبران بخشی از این ضعف به وسیله نبشی فولادی بوده که در این مقاله نیز مورد توجه قرار گرفته است. روش کار به این صورت است که در جان ناودانی شکافی ایجاد شده و بخشی از این کاهش در انتقال نیروی محوری به وسیله‌ی ظرفیت نبشی جبران شده است (شکل ۱). روند طراحی نیز به گونه‌ایست که نهایتاً ظرفیت نیروی محوری در مقطع کاهش یافته و نبشی، از ظرفیت کمانش مقطع اصلی مهاربند کمتر بوده و خسارت در این ناحیه متمرکز شود.

شکل ۱ ایده اصلی تحلیل

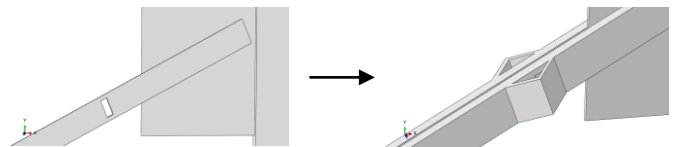


Fig.1. the main idea of this research

شکل ۲ نحوه اتصال نبشی به مهاربند

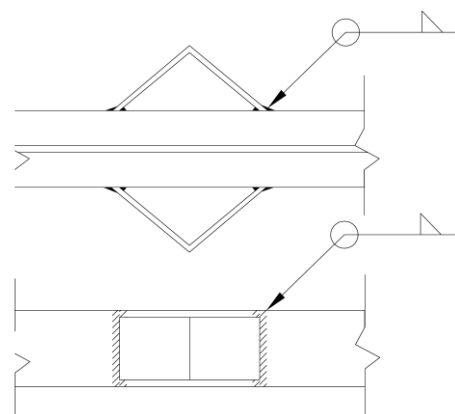


Fig.2. Angle connection to the brace

۳- مصالح به کار رفته در تحلیل

فولاد به کار رفته از نوع ST37 بوده و منحنی تنش-کرنش آن به صورت دوخطی و مطابق (شکل ۵) در نظر گرفته شده است. مصالح استفاده شده به صورت غیرخطی مدل شد و گزینه سخت‌شوندگی ترکیبی فعال شده است. این نوع سخت‌شوندگی در واقع ترکیبی از گزینه‌های ایزوتروپیک و سینماتیک بوده و با استفاده از داده‌هایی از نیمه اول چرخه نمودار تنش-کرنش در آزمایش کشش به دست می‌آید. در این نوع سخت‌شوندگی می‌توان بازه‌هایی برای تعریف مشخصات مصالح در نظر گرفت که هر بازه محدوده متفاوتی از کرنش‌ها را پوشش می‌دهد.

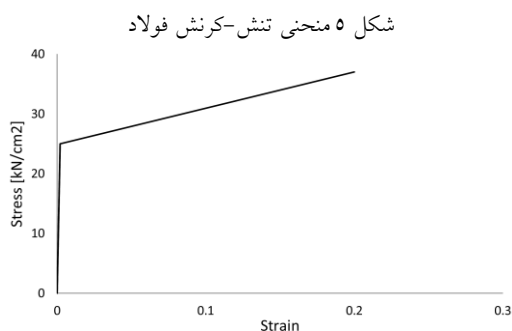


Fig. 5. Stress-strain diagram of the steel

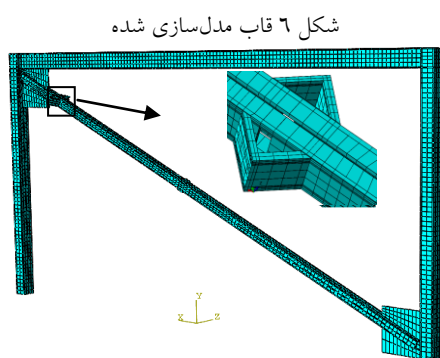


Fig. 6. Finite element model of the frame

۴- شرح روش اجزای محدود

۴-۱- تحلیل استاتیکی غیرخطی

در این قسمت با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود ABAQUS [۵] و انجام تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی روی مدل سه بعدی قاب به طول ۵ و ارتفاع ۳ متر، به بررسی رفتار مهاربند قطری اصلاح شده پرداخته شد (شکل ۶). برای همگرایی بیشتر نتایج

از مقطع 2UNP14 بدون هیچگونه تغییر خاص، مدلسازی ارزیابی شد. در مدل‌های دوم تا چهارم یک شکاف در جان مقطع مهاربند در ابعاد مختلف در نزدیکی محل اتصال به صفحه اتصال کناری برای کاهش ظرفیت محوری مهاربند به کمتر از نیروی کمانش آن ایجاد شد (شکل ۳). در مدل پنجم برای بررسی عملکرد نبشی فولادی در بارگذاری چرخه‌ای، مقطع مهاربند کاملاً برش داده شد و با نبشی دویل اتصال آن برقرار شد (شکل ۴). در پایان مدل‌های ششم و هفتم برای تقویت نسبی در مقطع کاهش یافته و نیز جلوگیری از پارگی در جان مهاربند در بارگذاری چرخه‌ای از نبشی فولادی نمره ۱۰ و ۲۰ استفاده شد. همچنین انتظار می‌رفت افزودن نبشی فولادی به عنوان عضو مستهلک‌کننده انرژی برای تمرکز تنش در آن و کاهش تنش در اعضای اصلی در رفتار لرزه‌ای قاب موثر باشد. سپس با استفاده از روش اجزای محدود به بررسی عملکرد لرزه‌ای نمونه‌ها پرداخته شد.

جدول (۳): نتایج بارگذاری چرخه‌ای نمونه‌ها در تحلیل استاتیکی غیرخطی

Sample	Brace section	Properties
1	2UNP14	normal
2	2UNP14	1/3 web split
3	2UNP14	1/2 web split
4	2UNP14	total web split
5	2UNP14	total section split+ angle 20
6	2UNP14	total web split+ angle 10
7	2UNP14	total web split+ angle 20

Table.3. Samples specifications

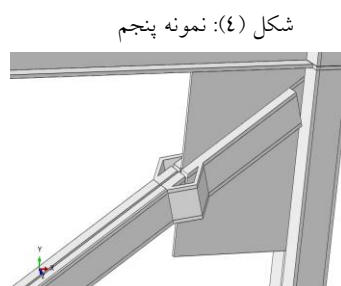


Fig.4. Sample 5

شکل ۸ منحنی هیستریزیس و مدل دوطبقی عملکرد نبشی نمره ۲۰

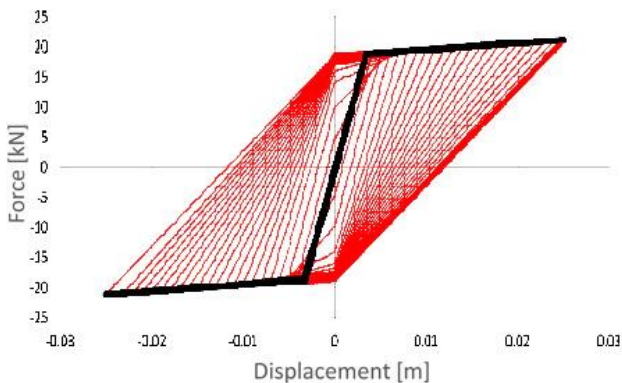


Fig.8. Hysteresis curve and bilinear model of the angle

۴-۲- تحلیل تاریخچه زمانی

در این قسمت برای بررسی رفتار سیستم تحت بارگذاری لرزه‌ای، تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی با استفاده از مولفه افقی شتاب‌نگاشت‌های زلزله سال ۱۹۷۹ امپریال ولی و ۱۹۸۹ لوماپریتا در ایالات متحده و نیز شتاب‌نگاشت ۱۹۹۵ کوبه ژاپن انجام شد. برای انجام تحلیل، درجه آزادی انتقالی در جهت x آزاد و سپس شتاب‌نگاشت‌های گفته شده در بازه‌های زمانی ۰/۰۱ ثانیه به تکیه‌گاه‌ها اعمال و منحنی تغییرات برش پایه و تغییرمکان قاب ترسیم شد. برای اعمال جرم سقف، بارگذاری ثقلی به صورت افزایش چگالی فولاد و به مجموع حدود ۳۰ تن روی تیر اعمال شد. همچنین به منظور امکان مقایسه بهتر نتایج و تخمین میزان تاثیر نمونه پیشنهادی، ابتدا کلیه شتاب‌نگاشت‌ها به PGA مقیاس و سپس استفاده شد.

۵- سنجش درستی مدل عددی

برای بررسی درستی نتایج و اطمینان از تطبیق مشخصات و پارامترهای به کار رفته در مدل عددی با شرایط واقعی، در ابتدا یک مدل واقعی ساخته شده در آزمایشگاه تحت بارگذاری چرخه‌ای به شرح مرجع [۷]، به وسیله نرم‌افزار ABAQUS مدل‌سازی و نتایج به دست آمده از نرم‌افزار با نتایج حاصل از تست‌های آزمایشگاهی مقایسه شد. ارزیابی منحنی‌های هیستریزیس به دست آمده از تحلیل عددی و نتایج آزمایشگاهی گویای هماهنگی مناسب نتایج بوده و مختصر تفاوت موجود نیز حاصل از شرایط بارگذاری و نیز جزئیات مدل‌سازی از

سعی شد تا با قسمت‌بندی مدل، در نواحی اتصال از مش‌بندی ریزتر و با دور شدن از آن به تدریج از مش‌بندی درشت‌تر استفاده شود. المان مورد استفاده از نوع SOLID بوده و تحلیل با لحاظ اثر تغییرشکل‌های بزرگ انجام شد. به دلیل اینکه در بیشتر استانداردهای معتبر دنیا از الگوی بارگذاری به شیوه افزایش تغییرمکان برای ارزیابی رفتار سازه‌ها استفاده می‌شود، در این پژوهش نیز برای انجام آنالیزهای استاتیکی غیرخطی از الگوی تغییرمکان افزاینده در جهت محور x و در گام‌های زمانی ۰/۱ ثانیه با لحاظ اثر تغییرشکل‌های بزرگ و مطابق با بارگذاری عملی بر طبق پیشنهاد ATC-24 انجام شد (شکل ۷). بر طبق این شیوه، چرخه‌های بارگذاری روی نمونه‌های آزمایشگاهی بر مبنای ۰/۱۲۵-۰/۵-۱-۲-۳ برابر تغییرمکان تسلیم در سه چرخه و بیشتر از آن تا تغییرمکان بیشینه در ۲ چرخه انجام می‌شود [۶].

در مرحله بعد برای بررسی رفتار چرخه‌ای نبشی فولادی، ابتدا مدل‌سازی اجزای محدود آن انجام و پس از بارگذاری چرخه‌ای روی این عضو، منحنی هیستریزیس آن ترسیم شد. همان‌گونه که (شکل ۸) ملاحظه می‌شود منحنی هیستریزیس نبشی فولادی دارای عملکرد مناسب بوده و افت مقاومت محسوس در آن مشاهده نمی‌شود. به دلیل اینکه مدل‌سازی دقیق رفتار غیرخطی المان‌ها در برنامه‌های کامپیوتری مشکل است معمولاً سعی می‌شود که از مدل دو یا چند خطی استفاده شود، پس برای معرفی رفتار نبشی به نرم‌افزار و برای سهولت کار، منحنی دوطبقی عملکرد آن به صورت پوش منحنی هیستریزیس مطابق (شکل ۸) استخراج شد.

شکل ۷ بارگذاری پیشنهادی ATC-24 [۶]

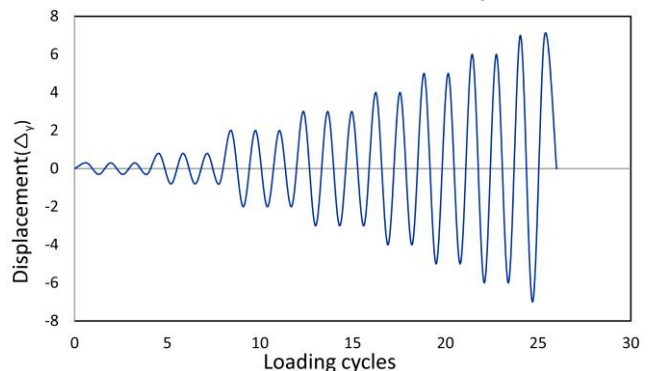


Fig. 7. Loading protocol according to ATC-24 [6]

برشی به طول ۱/۳ جان در مقطع ناودانی نیز تقریباً رفتاری مشابه با نمونه اول داشته، لیکن اندکی نامنظمی در رفتار کششی آن مشاهده شده و نیز مقداری کاهش در برش پایه قاب به دلیل کاهش سختی المان ایجاد شده است (شکل ۱۲).

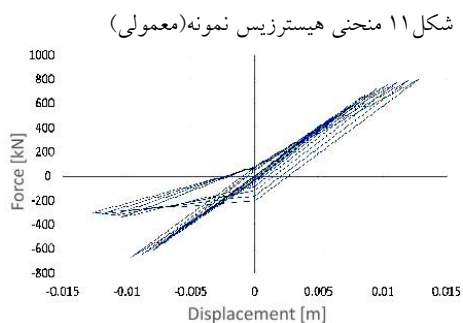


Fig. 11. Hysteresis curve of the sample 1

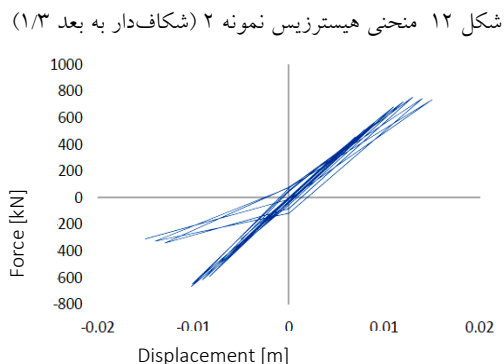


Fig. 12. Hysteresis curve of the sample 2 (1/3 web split)

به نظر می‌رسد سوراخ ایجاد شده در مقایسه با سطح مقطع کل عضو ناچیز بوده ولی تا حدودی رفتار عضو را تحت تاثیر قرار داده است. علاوه بر این کاهش سطح مقطع در این نواحی سبب افزایش ناگهانی تنش و نیز نامنظمی در مسیر انتقال نیرو شده و باید از وجود چنین حفره‌هایی جلوگیری کرد، زیرا از طرفی سطح مقطع کاهش یافته آنقدر بزرگ نیست که سبب کاهش محسوس سختی و رفتار شکل‌پذیرتر مقطع شود و نه آنقدر کوچک است که از تاثیر آن هنگام بارگذاری چرخه‌ای و جوشکاری و برشکاری المان مهاربند و در اثر خطای ساخت چنین حفره‌هایی به وجود می‌آید که باید با قضاوت مهندسی به شکل مناسب با اتصال ورق و یا پرکردن با جوش تعمیر شود. چگونگی توزیع تنش‌های فون میسز در نمونه اول حاکی

جمله عدم مدلسازی جوش اتصال و نظایر آن است. (شکل‌های ۹ و ۱۰)

شکل ۹ منحنی هیستریزس نمونه آزمایشگاهی [۷]

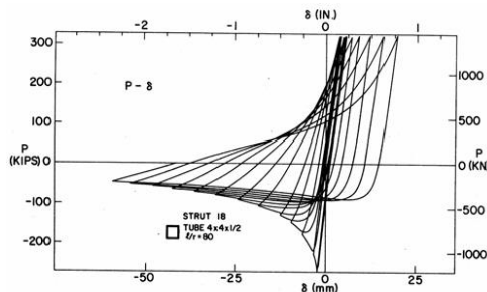


Fig. 9. Hysteresis curve of the experimental specimen [7]

شکل ۱۰ منحنی هیستریزس نمونه عددی

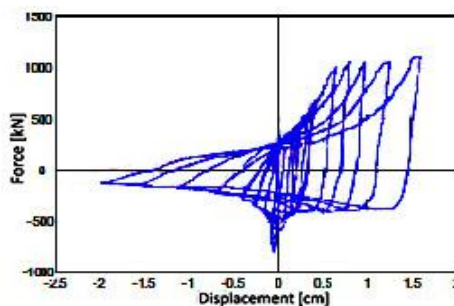


Fig. 10. Hysteresis curve of the numerical specimen

۶- بررسی نتایج تحلیل

۶-۱- نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی

همانگونه که از ابتدا نیز قابل تصور بود، بررسی نمودار هیستریزس نمونه اول (شکل ۱۱) حاکی از رفتار نامطلوب و غیر شکل‌پذیر مهاربند هم‌محور داشته و افت مقاومت و کاهش محسوس سختی قاب پس از کمانش عضو فشاری دیده می‌شود. کمانش مهاربند در برش پایه حدود ۶۵ تن سبب ناپایداری منحنی هیستریزس و افت شدید عملکرد سازه شده است که هماهنگی خوبی با بار کمانشی محاسباتی مقطع داشته و موید درستی نتایج تحلیل است و همانگونه که اشاره شد اندک تفاوت موجود نیز ناشی از عواملی مانند جزئیات مدلسازی و شرایط بارگذاری است. عدم تقارن در رفتار کششی و فشاری مهاربند سبب بروز کمانش زود هنگام شده و عملاً بخش عمده‌ای از ظرفیت مقطع بدون استفاده مانده است. همچنین منحنی هیستریزس نمونه دوم یعنی نمونه با ایجاد

شکل ۱۵ توزیع تنش فون میسز در نمونه چهارم (شکافدار کامل)

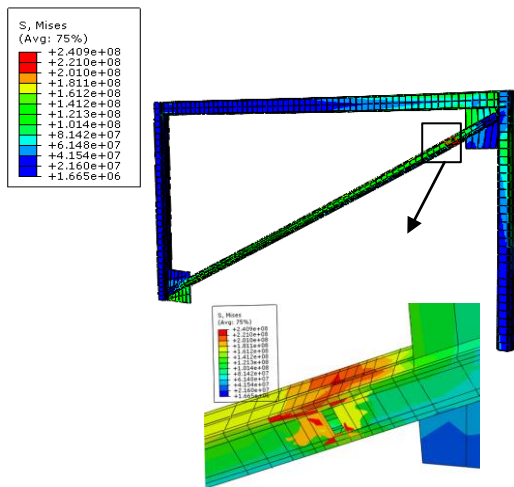


Fig. 15. The von-mises stress distribution in sample 4 (total web split)

افزایش چشم گیر تنش در ناحیه کاهش یافته سبب گسیختگی مقطع شده و تمرکز تنش به ویژه در ناحیه گوشه های شکاف ایجاد شده موجب شکل پذیری نامناسب رفتار آن شده است (شکل ۱۵). در این نمونه نیز کماتش مهاربند در تغییر مکان ۱/۲۵ سانتی متر در اثر نیروی ۴۴ تن سبب زوال شدید سختی و افت محسوس مقاومت شده است.

شکل ۱۶ منحنی هیستریزیس نمونه ۵ (برش کامل، مقطع +نبشی ۲۰)

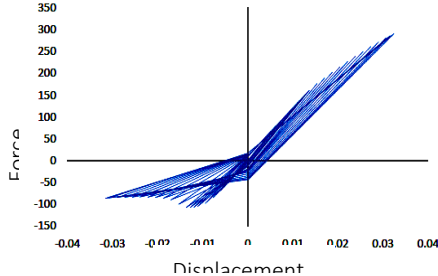


Fig. 16. Hysteresis curve of the sample 5 (total section split+ angle 20)

شکل ۱۷ توزیع تنش فون میسز در نمونه پنجم (برش کامل مقطع +نبشی ۲۰)

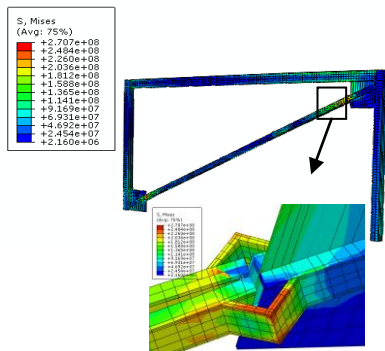


Fig. 17. The von-mises stress distribution in sample 5 (total section split+ angle 20)

از تمرکز این تنش ها در طول مهاربند و نیز محل اتصال به ستون داشته و احتمال وقوع خرابی و خسارت در این نقاط را افزایش می دهد. تمرکز شدید تنش در گوشه های قاب امکان کماتش صفحه اتصال کناری و نیز وقوع آسیب در اتصالات را بسیار محتمل می نماید و باید در طراحی این اعضا مدنظر قرار گیرد. بررسی منحنی هیستریزیس نمونه سوم یعنی نمونه با ایجاد شکاف در ۱/۲ جان مقطع گویای کاهش سختی المان و برش پایه وارد به قاب است (شکل ۱۳). کماتش مهاربند در تغییر مکان حدود ۱ سانتی متر تحت نیروی ۶۰ تن سبب افت سختی و عدم پایداری منحنی هیستریزیس آن شده است. همچنین اگرچه تحلیل نمونه چهارم تا تغییر مکان های بیشتر پیش رفت و منحنی هیستریزیس مناسب تری به دست آمد، اما تمرکز شدید تنش در ناحیه کاهش یافته سبب بروز تغییر شکل زیاد و آسیب در این قسمت شد، و رفتار لرزه ای مورد انتظار برآورده نشد (شکل ۱۴).

شکل ۱۳ منحنی هیستریزیس نمونه ۳ (شکافدار به بعد ۱/۲)

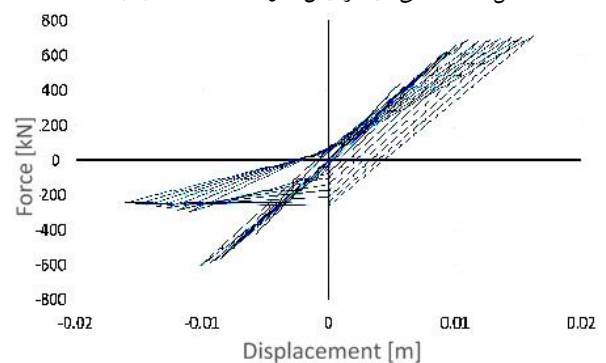


Fig. 13. Hysteresis curve of the sample 3 (1/2 web split)

شکل ۱۴ منحنی هیستریزیس نمونه ۴ (شکافدار کامل)

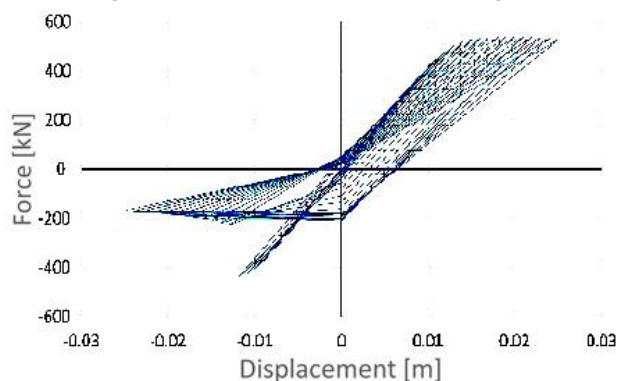


Fig. 14. Hysteresis curve of the sample 4 (total web split)

شکل ۲۰ توزیع تنش فون میسز در نمونه هفتم (شکافدار کامل+نبشی ۲۰)

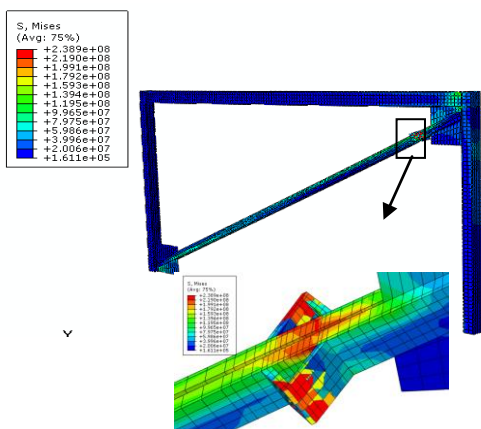


Fig. 20. The von-mises stress distribution in sample 7 (total web split+ angle 20)

همان‌گونه که مشاهده می‌شود (شکل‌های ۱۸ و ۱۹) افزودن نبشی فولادی در ترکیب با مقطع کاهش یافته در نمونه‌های ششم و هفتم سبب بهبود عملکرد مهاربند هم‌محور شده است. بررسی منحنی‌های هیستریزس موید رفتار شکل‌پذیرتر مهاربند اصلاح شده و اتلاف انرژی بیشتر آن است. اگرچه رفتار نمونه ۶ تحت بارگذاری چرخه‌ای دارای منحنی مقارن است اما ضعف خمشی و انعطاف‌پذیری زیاد نبشی نمره ۱۰ سبب کاهش سختی بالا و عدم جذب انرژی کافی شده است. اما در نمونه ۷ علاوه بر منحنی پایدار و مقارن تا تغییر مکان بیش از ۲ سانتی‌متر نیز افت عملکردی مشاهده نمی‌شود. چرخه‌های هیستریزس چاق‌تر گویای اتلاف انرژی بیشتر مقطع تقویت شده و عملکرد لرزه‌ای مطلوب‌تر آن می‌باشد. همچنین پایداری چرخه‌ها و عدم افت محسوس عملکرد فشاری متضمن رفتار شکل‌پذیرتر تحت زلزله‌های شدیدتر خواهد بود. همان‌گونه که در (شکل ۲۰) ملاحظه می‌شود، تمرکز تنش‌ها در نمونه ۷ بیشتر روی نبشی تقویتی متمرکز شده است. رفتار مناسب چرخه‌ای نبشی تقویت به عنوان عضو مستهلک‌کننده انرژی سبب رفتار مناسب مقطع شده است. تغییر شکل و باز و بسته شدن نبشی، سبب استهلاک انرژی و بهبود شکل‌پذیری عملکرد قاب شده و در صورت آسیب و یا پارگی جوش اتصال آن در زلزله‌های شدید امکان استهلاک انرژی به وسیله‌ی مقطع کاهش‌یافته به عنوان عضو کمکی وجود داشته که این عملکرد

اتصال نبشی فولادی به عنوان رابط دو سر مهاربند برای انتقال نیرو در نمونه پنجم موجب کاهش شدید سختی مهاربند و در نتیجه کاهش حدود ۶۵ درصدی در جذب نیرو و برش پایه قاب شد (شکل ۱۶). تمرکز تنش‌ها در نمونه پنجم بیشتر در نواحی نبشی اتصال بوده و این امر سبب کاهش شدید تنش در سایر اعضای اصلی شده است (شکل ۱۷). لیکن همان‌گونه که انتظار می‌رفت نرمی بیش از حد نبشی اتصال و عدم ظرفیت خمشی مناسب، سبب بروز تغییر شکل‌های زیاد و رفتار غیرشکل‌پذیر قاب بوده و تغییر شکل‌های بیش از حد سبب قطع تحلیل و عدم همگرایی نتایج شد. پس لزوم به کارگیری این المان به عنوان عضو کمکی در انتقال بخشی از نیرو در ترکیب با ظرفیت عضو اصلی منطقی بوده و به کارگیری آن به عنوان عضو تک در توزیع نیرو بین دو قسمت از المان مهاربند توصیه نمی‌شود.

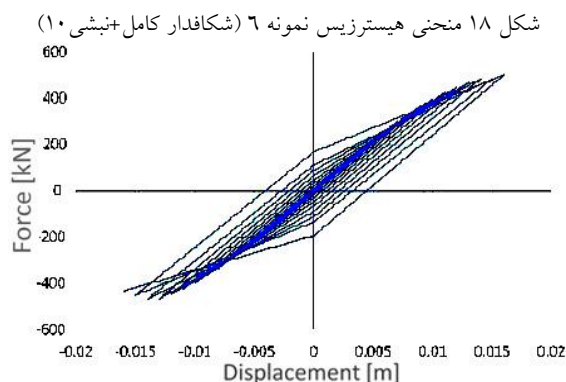


Fig. 18. Hysteresis curve of the sample 6 (total web split+ angle 10)

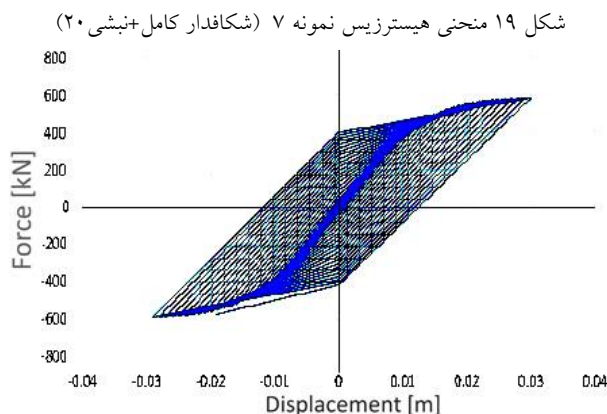


Fig. 19. Hysteresis curve of the sample 7 (total web split+ angle 20)

قاب، بار کمانشی و تغییر مکان اعمالی در جدول (۴) قابل مشاهده است.

۶-۲- نتایج تحلیل تاریخچه زمانی

با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل استاتیکی غیرخطی و بررسی رفتار نمونه‌های پیشنهادی، نهایتاً نمونه هفتم به عنوان نمونه منتخب با رفتار قابل قبول و شکل‌پذیری مناسب انتخاب شد. بنابراین در این قسمت با توجه به طولانی بودن زمان تحلیل و حجم بالای عملیات محاسباتی در آنالیز دینامیکی، تنها مقایسه رفتار این نمونه با مهاربند نرمال تحت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی انجام شد. مقایسه میزان جذب نیرو و برش پایه به دست آمده از هر سه شتاب‌نگاشت مویید جذب نیروی کمتر نمونه پیشنهادی و رفتار مناسب‌تر آن است. همان‌گونه که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، بررسی نتایج به دست آمده حاکی از کاهش محسوس سختی و برش پایه قاب به میزان حدود ۲۰-۳۱ درصد در شتاب‌نگاشت‌های اعمالی بوده که موجب کاهش نیروهای طراحی و در نتیجه سطح مقطع عناصر سازه‌ای می‌شود. همچنین اتصال پیشنهادی موجب افزایش دوره تناوب و تغییر مکان سازه بوده که باید در طراحی مدنظر قرار گیرد.

ثانویه متضمن رفتار لرزه‌ای مناسب مقطع است. علاوه بر این تمرکز تنش‌های فون‌میسز در ناحیه کاهش یافته و نبشی تقویت سبب کاهش محسوس تنش در سایر اعضای اصلی شده است. همچنین کاهش سختی مهاربند سبب کاهش نیروی برش پایه و در نتیجه کاهش نیرو در سایر اعضای اصلی خواهد بود و در صورت طراحی و اجرای مناسب اتصال پیشنهادی، افزایش شکل‌پذیری قاب از آثار مثبت آن است. با بررسی نتایج و نمودارهای ارائه شده به نظر می‌رسد در اتصال پیشنهادی، نمونه‌ای رفتار مناسب‌تر و شکل‌پذیرتر داشته که اولاً سطح مقطع کاهش یافته دارای ابعاد مناسب بوده و ثانیاً نبشی تقویت از صلیبیت قابل قبول برخوردار بوده است. همچنین با توجه به محدودیت‌های اجرایی و آیین‌نامه‌ای در استفاده از بیشینه بعد جوش متناسب با ضخامت ورق کمتر، پیشنهاد می‌شود طراحی نبشی بر اساس بیشینه بعد جوش مجاز و ضخامت جان مقطع مهاربند محاسبه شود. لازم به گفتن است که نقش تعیین‌کننده عملکرد نبشی فولادی به عنوان عضوی شکل‌پذیر و تقریباً بدون افت محسوس مقاومت در بارگذاری چرخه‌ای، سبب جذب نیرو و نیز جلوگیری از تمرکز تنش در مقطع کاهش یافته بوده و متضمن عملکرد لرزه‌ای مناسب‌تر مهاربند است. کلیه نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی اعم از بیشینه برش پایه

جدول (۴): مقایسه نتایج نمونه معمولی و نمونه شماره ۷ (شکافدار کامل+نبشی ۲۰) در تحلیل تاریخچه زمانی

Sample	Elastic stiffness [kN/cm]	Ultimate displacement [cm]	Critical buckling load [kN]	Maximum base shear [kN]
1	1052.5	1.28	650	800
2	816.6	1.5	639	780
3	750.3	1.53	590	690
4	499.2	2.52	440	520
5	132.4	3.23	107	280
6	528.5	1.63	470	530
7	632.4	2.95	560	580

Table.4. Results of the nonlinear static analyses

جدول (۵): مقایسه نتایج نمونه معمولی و نمونه شماره ۷ در تحلیل تاریخچه زمانی

Sample	Imperial Valley Max displacement [cm]	Loma Prieta Max displacement [cm]	Kobe Max displacement [cm]	Imperial Valley Max base shear [kN]	Loma Prieta Max base shear [kN]	Kobe Max base shear [kN]
1	2.46	12.4	4.6	235	390	298
7	3.05	14.9	5.8	180	310	205

Table.5. Results comparison of the normal sample with sample 7 in time history analyses

۷- نتیجه گیری

یافته و نبشی فولادی موجب کاهش حدود ۳۰ درصد در برش پایه وارد به سازه در تغییرمکان چرخه‌ای مشابه با مهاربند معمولی شده و بدیهی است که کاهش نیروی برش پایه باعث کمتر شدن نیروهای داخلی در سایر اعضا و اطمینان بیشتر از عملکرد آنها خواهد شد.

در پایان لازم به گفتن است که با توجه به نتایج مناسب به دست آمده در تحلیل عددی، ساخت مدل و انجام کار آزمایشگاهی برای بررسی درستی نتایج باید در مرحله بعدی پژوهش در دستور کار قرار گیرد.

با توجه به نتایج به دست آمده، ترکیب مقطع کاهش یافته و نبشی اتصال به گونه‌های که مجموع ظرفیت آن دو از نیروی کمانش مهاربند کمتر باشد برای تامین شکل‌پذیری مناسب توصیه می‌شود. همچنین با عنایت به اینکه بخش عمده‌ای از ظرفیت مهاربند در مقاطع ناودانی از طریق بال ناودانی منتقل می‌شود و نیز به دلیل عدم حصول ظرفیت خمشی بالا در نبشی‌های موجود، باید مقطع کاهش یافته تنها در جان مهاربند ایجاد شود.

نتایج تحلیل را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

منحنی هیستریزس نمونه پیشنهادی (نمونه ۷) تا اواخر تحلیل و تا تغییرمکان بیش از ۲ سانتی‌متر پایدار بوده در حالی که مهاربند معمولی در تغییرمکان حدود ۱ سانتی‌متر دچار کمانش و افت محسوس عملکرد لرزه‌ای شده است. به علت شکل‌پذیری مناسب رفتار نبشی فولادی و انعطاف‌پذیری بالای آن می‌توان قسمت عمده‌ای از جذب انرژی سازه را از این اعضا انتظار داشت. همچنین به نظر می‌رسد استفاده از نبشی با مقاطع بالاتر و ظرفیت بیشتر سبب تحمل تغییرمکان‌های نسبی بالاتر و بهبود عملکرد سازه خواهد بود.

با عنایت به اینکه در طراحی این سیستم، ظرفیت خمشی نبشی فولادی کمتر از بار کمانشی مهاربند انتخاب می‌شود، در صورت طراحی مناسب می‌توان از عدم کمانش مهاربند اطمینان حاصل نمود.

استفاده از نبشی فولادی به عنوان عضو مستهلک‌کننده انرژی باعث جذب انرژی ورودی زلزله به وسیله آن شده و با کم کردن برش پایه قادر به مهار نیروی زلزله خواهد بود. در این تحلیل کاهش سختی مهاربند به وسیله مقطع کاهش

Referensec

۸- منابع

[1] Tirca, L. Danila, N. Caprarelli, C. " Numerical modelling of dissipative pin devices for brace-column connections", Journal of Constructional Steel Research, Volume 94, March 2014, Pages 137-149

[۲] مالک، ش، پابسونگ، پ، لوح قلم، ا، "معرفی یک سیستم میراگر غیرفعال نوین و مقایسه آن با میراگر TADAS"، اولین همایش مقاوم سازی لرزه‌ای، ۱۳۸۵.

[۳] کافی، م، عباس نیا، ر، محمدحسینی، آ، "بررسی بهبود رفتار لرزه‌ای مهاربندهای هم محور با استفاده از المان نوین شکل‌پذیر"، اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساختها، ۵ تا ۷ آبان ۱۳۸۸، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، ایران.

[۴] مقررات ملی ساختمان "طرح و اجرای ساختمانهای فولادی"، تهران، توسعه ایران، ۱۳۸۷، چاپ سوم.

[5] ABAQUS Finite Element Analysis Program. Version 6.10.0. User's Manual. 2010.

[6] Applied Technology Council. "Guidelines for Seismic Testing of Components of Steel Structures", 1992. Report of ATC-24.

[7] Black, G. R. Wenger, B. A. Popov, E. P. "Inelastic buckling of steel strut under cyclic load reversals", Tech. Rep. UCB/EERC-80-40, EERC, Berkeley, CA, October 1980

Study of Using steel angle to Upgrade the Seismic Behavior of Centrally Braced Frames

S.M. Zahrai¹, A. Cheraghi^{2*}

1- Professor, Center of excellence for Engineering and Management of civil Infrastructures , School of Civil Engineering, The University of Tehran, mzahrai@ut.ac.ir

2- Ph.D. student, construction Eng, Faculty of Civil Eng, Islamic azad University of Arak,

amircheraghi62@gmail.com

Abstract:

Seismic Behavior of Concentric brace frames has been one of popular topics in earthquake engineering. Relatively low cost and the ease and speed of implementation has led to the widespread use of these braced frames but past earthquakes experiences show inappropriate behavior, inability to dissipate high energy and the lack of ductility. This paper presents a new mechanism by combining the steel angle and slot in brace member to improve the seismic performance and postponing the buckle. Stresses and displacement of structures using nonlinear static and dynamic analysis by finite element software "ABAQUS" are evaluated. At first In order to verify the results and ensure the implementation details and parameters used in the numerical model, results of laboratory test under cyclic loading were compared. Evaluation hysteresis loop obtained from numerical analysis and experimental results show suitable match. then, for nonlinear static analysis, seven diagonal brace model were created and tested. In the first specimen, the normal braces with no particular change, modeled and evaluated. in the second to fourth models, slot were created near the gusset plate with various dimension to reduce the axial load capacity of brace to less than it's buckling load. In the fifth model to evaluate the performance of steel angles in cyclic loading, brace section was perfectly cut and double angle used to connect two parts of brace for transferring axial load. Finally, in the sixth and seventh models, in the hope that achieving suitable seismic behavior, combination of steel angle and reduced brace section were used.

Results indicate improved seismic performance and ductility of CBF systems. Concentration of inelastic response in steel angle results in high energy dissipation and prevents from nonlinear behavior in other elements. In addition, comparing the hysteresis loop of proposed model with that of normal braces shows symmetric and stable rational behavior where strength and stiffness degradations are not seen in the displacement up to about 2 cm while the normal brace buckles in about 1 cm.

Afterward, in order to investigate the behavior of the system under seismic loading, dynamic time history analyses using the horizontal component accelerograms of the Imperial Valley, Loma Perieta and Kobe earthquakes were performed. According to the results of the nonlinear static analysis, proposed sample was chosen as a specimen with acceptable behavior and suitable ductility. Therefore, regarding the long time duration on dynamic analysis, its seismic behavior was compared with the normal brace. Comparison of results obtained from three seismic records, demonstrates less input energy and base shear and appropriate seismic behavior of proposed model due to sensible stiffness reduction of proposed brace.

It should be noted that due to the appropriate results obtained from numerical analysis, specimen fabrication and experimental work to verify the results in the next stage of research should be on the agenda.

Keywords: Slit brace, steel angles, nonlinear static and dynamic analysis, energy dissipation, ductility.