

Investigating the Seismic Behavior of CBF Frame With Arc Bracing in Different Shapes in Two-Story Structure

Ashkan Khodabandehlou¹

1- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia,

ABSTRACT

A CBF frame is an earthquake-resistant system used in steel structures. The brace of this system can be used in various shapes, such as X-shaped, V-shaped, elbow, etc., each of which can change the behavior of the structure. However, low plasticity, high hardness, absorption, and low seismic energy consumption are among the disadvantages of this system. A seismic design should be such that the structure remains in a linear range without damage during small earthquakes. It will suffer non-structural damage in moderate earthquakes, and it will have structural and non-structural damage during severe earthquakes, but its stability will be maintained with a proper design. The brace can also be quickly and economically modified and strengthened after the earthquake damage. The literature has shown that the use of arc or ellipse braces can act properly in transferring lateral forces and improve the behavior of the structure. In this research, therefore, four models of CBF frames with arch braces in different shapes are proposed to investigate their seismic behavior in a two-story structure. The models designed by the finite element method were subjected to lateral and cyclic loading to compare their bearing capacity, seismic behavior, ductility, seismic energy consumption, behavior coefficient, stiffness reduction, failure mode, and economic index. A summary of the results shows that the use of ellipse braces in the two-story structure can be more compatible with the purpose of this research.

ARTICLE INFO

Receive Date: 21 November 2023

Revise Date: 23 January 2024

Accept Date: 08 April 2024

Keywords:

Steel brace

Ellipse brace

Convergent frame

Abaqus

CBF frame

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://doi.org/10.22065/jsce.2024.425263.3274>

*Corresponding author: Ashkan Khodabandehlou

Email address: a.khodabandehlou@iaurmia.ac.ir

بررسی رفتار لرزه‌ای قاب همگرای فولادی تقویت شده با مهاربند کمان شکل در حالات نصب متفاوت در سازه دو طبقه اشکان خدابنده لو^{*}

۱- دانشیار، گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

چکیده

قاب مهاربند همگرای فولادی یک سیستم متداول و مقاوم در برابر زلزله است که در سازه‌های فولادی بکار می‌رود. عضو داخلی این مهاربندها با شکل‌های مختلفی نظیر ضربدری، زانویی، شورون و غیره قابل اجرا است که هر کدام از آن‌ها می‌تواند تغییر محسوسی در رفتار سازه ایجاد کند. اما شکل‌پذیری کم، سختی بالا، میزان جذب و استهلاک انرژی پایین جزء معایب این سیستم می‌باشد. در طراحی لرزه‌ای طرح باید به گونه‌ای باشد تا سازه در هنگام وقوع زلزله‌های کوچک در محدوده خطی و بدون خسارت باقی بماند. در زلزله‌های متوسط، خسارت غیر سازه‌ای ببینند و در هنگام وقوع زلزله‌های شدید و بزرگ خسارت‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای داشته باشند اما پایداری کلی آن‌ها حفظ شود. همچنین بتوان مهاربند را پس از آسیب در برابر زلزله بطور سریع و اقتصادی بهسازی و مقاوم نمود. نتایج تحقیقات گذشته نشان داده که استفاده از مهاربندهای کمانی یا بیضی شکل می‌تواند در انتقال نیروهای جانبی عملکرد مناسبی داشته باشند و باعث بهبود رفتار سازه شوند. بر همین اساس در این تحقیق چهار مدل قاب همگرای فولادی با مهاربند کمان شکل در الگوهای شکلی مختلف پیشنهاد شده و رفتار لرزه‌ای آن‌ها در سازه دو طبقه مورد بررسی قرار گرفته. برای این منظور مدل‌های طراحی شده به روش اجزاء محدود تحت بارگذاری جانبی و چرخه‌ای قرار گرفتند و ظرفیت باربری، رفتار لرزه‌ای، شکل‌پذیری، استهلاک انرژی لرزه‌ای، ضریب رفتار، کاهش سختی، مود شکست و شاخص اقتصادی آن‌ها مورد مقایسه قرار گرفت. جمع‌بندی نتایج نشان می‌دهد که استفاده از مهاربند بیضی شکل در سازه دو طبقه می‌تواند انطباق بیشتری با هدف این تحقیق داشته باشد.

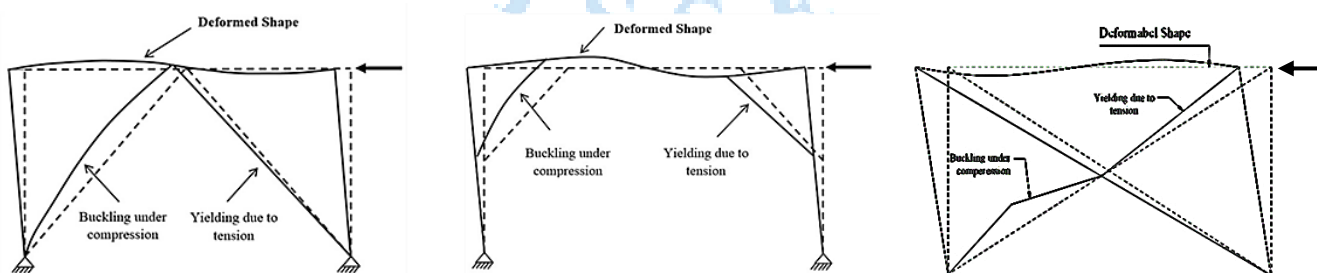
کلمات کلیدی: مهاربند فولادی، مهاربند بیضی، قاب همگرا، آباکوس، قاب CBF.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://doi.org/10.22065/jsce.2024.425263.3274	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2024.425263.3274	۱۴۰۳/۰۹/۳۰	۱۴۰۳/۰۱/۲۰	۱۴۰۳/۰۱/۲۰	۱۴۰۲/۱۱/۰۳	۱۴۰۲/۰۸/۳۰
اشکان خدابنده لو [*]					نویسنده مسئول:	
a.khodabandehlou@iaurmia.ac.ir					پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

قاب مهاربند همگرای فولادی یا CBF¹ یک سیستم متداول و مقاوم در برابر زلزله است که در سازه‌های فولادی بکار می‌رود. عضو داخلی این مهاربندها با شکل‌های مختلفی نظیر ضربدری، زانویی، شورون و غیره قابل اجرا است که هر کدام از آن‌ها می‌تواند تغییر محسوسی در رفتار سازه ایجاد کند [۱]. شکل‌پذیری قاب‌های CBF به مهاربند میانی که عضو DC² هستند بستگی دارد و سایر اجزاء قاب مانند تیر، ستون و اتصالات عضو FC³ هستند که باید در محدوده ارتجایی یا خطی باقی بمانند. در قاب CBF عضو داخلی حداقل از دو مقطع تیر و ستون عبور می‌کند و به علت آنکه نیروهای جانبی توسط اعضاء به صورت محوری منتقل می‌شوند، دارای سختی بالایی می‌باشند. مهم‌ترین ویژگی این قاب‌ها، سختی بالای آن نسبت به قاب خمشی است اما می‌توان با ایجاد تمهیداتی در عضو داخلی (مهار داخلی) نسبت شکل‌پذیری آن را افزایش داد [۲]. یکی دیگر از محدودیت‌های این سیستم، استفاده از آن در طرح‌های معماری می‌باشد. بطوریکه با قراردادن بازشوهای کوچک در این سیستم بدلیل کم‌انرژی درون صفحه‌ای در اثر نیروهای جانبی وارده معضلاتی ایجاد می‌شود [۳]. بطور گسترده استفاده از این مهاربند به علت ضعف در جذب انرژی و شکل‌پذیری کم در مناطق زلزله خیز شدید پیشنهاد نمی‌شود [۳-۱].

نگاهی به خسارت‌های ناشی از زلزله‌های گذشته نشان می‌دهد که درصد بالایی از ساختمان‌های فولادی نیازمند بهسازی لرزه‌ای هستند. حتی ممکن است این سازه‌ها بر اساس آیین‌نامه‌های قدیمی طراحی شده باشند و مطابق با الزامات آیین‌نامه‌های جدید نباشند. از طرفی ضعف‌های اجرایی مزید بر علت شده و ممکن است ساختمان‌ها را آسیب‌پذیرتر کند [۴]. بنابراین تقویت این ساختمان‌ها بخصوص برای مقابله با نیروهای جانبی با استفاده از روش‌های آسان و سریع ضرورت دارد. بطور کلی مقاوم‌سازی لرزه‌ای برای تقویت ساختمان‌های موجود برای افزایش پایداری در زلزله‌های آینده می‌باشد. ارزیابی مهاربندها با در نظر گرفتن ظرفیت اتلاف انرژی لرزه‌ای و تغییر شکل‌شان تعریف می‌شود. در طراحی لرزه‌ای طرح باید به گونه‌ای باشد تا ساختمان‌ها در هنگام وقوع زلزله‌های کوچک در محدوده خطی و بدون خسارت باقی بمانند. در زلزله‌های متوسط، خسارت غیر سازه‌ای ببینند و در هنگام وقوع زلزله‌های شدید و بزرگ خسارت‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای داشته باشند اما پایداری کلی آن‌ها حفظ شود. طبق اصول طراحی بر اساس ظرفیت که مبنای طراحی لرزه‌ای است، مهاربند داخلی (عضو تغییر مکان-کنترل یا عضو DC⁴) نقش فیوز در قاب همگرای فولادی دارد تا تمرکز آسیب در آن قرار گیرد و سایر اعضای اصلی سازه نظیر ستون، تیر (عضو نیرو-کنترل یا عضو FC⁵) کمترین خسارت را ببینند [۵]. همچنین این عضو باید قابلیت تعویض داشته باشد تا هنگام بهسازی بتوان آن را تعویض نمود. بنابراین ضرورت دارد تا بتوان عضو مهاربند را پس از آسیب در برابر زلزله بطور سریع و اقتصادی بهسازی و مقاوم نمود.



شکل ۱ به ترتیب از راست به چپ: مهاربند X شکل، مهاربند زانویی، مهاربند شورون

¹ Concentrically Braced Frame

² Displacement Control

³ Force Control

⁴ Displacement Control

⁵ Force Control

تاکنون تحقیقات زیادی بر روی انواع مهاربند با حالات نصب و هندسه‌های مختلف انجام شده و همواره محققان در حال بررسی بهبود رفتار این سیستم، جهت افزایش کارایی و بهره‌وری آن هستند. قاسمی و همکاران در سال ۲۰۱۶ میلادی به بررسی و مقایسه رفتار چرخه‌ای قاب همگرای فولادی با مهاربند X، V، زانویی، بیضی شکل و قاب خمشی پرداختند. در این تحقیق مدل‌سازی قاب‌ها به روش اجزاء محدود با نرم‌افزار آباکوس انجام گردید و تمامی قاب‌ها تحت بار جانبی چرخه‌ای از نوع جابجایی-زمان طبق الگوی بارگذاری ATC24 قرار گرفتند. همچنین پارامترهای لرزه‌ای قاب‌ها مانند ضریب شکل‌پذیری، ضریب اضافه مقاومت و ضریب رفتار آن‌ها محاسبه و مقایسه شدند. نتایج این تحقیق نشان داد که ظرفیت باربری و نسبت شکل‌پذیری در مهاربند بیضی شکل بیشتر از سایر مهاربندهای مدل‌سازی شده می‌باشد و دارای رفتار بهینه‌تری است. همچنین در این تحقیق عنوان شده که استفاده از قاب همگرا با مهاربند بیضی شکل محدودیتی برای ایجاد بازشو در طرح‌های معماری نخواهد داشت [۶]. سریع الاطلاق و همکاران در سال ۱۳۹۷ به بررسی رفتار لرزه‌ای قاب همگرای فولادی با شکل‌های مختلف با قاب خمشی فولادی پرداختند. در این تحقیق یک قاب سه طبقه با سه دهانه که دهانه میانی آن‌ها با سه مدل مهاربند بیضی، شورون و ضربدری مهار شده در نرم‌افزار Sap2000 مدل‌سازی شد. همچنین کلیه اتصالات تیر به ستون و مهاربند به ستون گیردار فرض شد. تحلیل انجام شده از نوع تحلیل استاتیکی غیر خطی (پوش‌آور) در نظر گرفته شد و در نهایت منحنی نیرو-تغییر مکان مدل‌ها با یکدیگر مقایسه شدند. بررسی نتایج عدم کاهش سختی و زوال مقاومت را در قاب خمشی با مهاربند بیضی برخلاف دو نمونه دیگر نشان داد. همچنین به وضوح مشاهده گردید که کمانش خارج از صفحه قاب خمشی با مهاربند بیضی در مقابل دو نمونه دیگر بسیار ناچیز است. در این تحقیق اذعان شده که استفاده از مهاربند بیضی شکل باعث افزایش شکل‌پذیری و کاهش سختی قاب می‌شود و محدودیت‌های طراحی معماری برای ایجاد بازشو را برطرف می‌کند [۷]. بیطرف و همکاران در سال ۱۳۹۶ به بررسی امکان‌سنجی استفاده از مقاطع لوله‌ای بیضی شکل در ورق مهاربندی میانی به عنوان فیوز (مستهلک کننده انرژی) پرداختند. برای انجام این تحقیق از روش اجزاء محدود با نرم‌افزار آباکوس استفاده شد و نتایج با مدل آزمایشگاهی مورد مقایسه و صحت‌سنجی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که اگر از دو پروفیل لوله‌ای بیضی شکل استفاده می‌شود مناسب‌ترین رفتار از لحاظ جذب انرژی و مقاومت در بین مدل‌های قاب همگرای مهاربندی شده حاصل می‌شود [۸]. فنایی و همکاران در سال ۲۰۲۳ به بررسی و ارزیابی عددی قاب‌های همگرای فولادی با مهاربند ربع بیضی (QEB-MFs) شکل پرداختند. در این تحقیق عنوان شد که قاب‌های همگرا با مهاربند X شکل در زمان وقوع زلزله‌های خفیف عملکرد بسیار خوبی در برابر نیروهای جانبی لرزه‌ای دارند، اما در برابر بارهای لرزه‌ای شدید به دلیل وقوع کمانش اعضای مهاربندی و عدم شکل‌پذیری مناسب از نظر شکل‌پذیری ضعیف هستند و به خوبی انرژی لرزه‌ای را جذب نمی‌کنند. بنابراین این تحقیق یک مهاربند جدید معرفی می‌کند که افزودن این مهاربند به قاب فولادی، سختی را بهبود بخشیده و از تغییر شکل بیش از حد سازه جلوگیری می‌کند. همچنین یک فرمول تحلیلی دقیق با استفاده از مفهوم انرژی کرنش و قضیه کاستیلیانو^۶ به منظور محاسبه سختی جانبی در محدوده الاستیک ارائه شده. در این تحقیق یک قاب خمشی فولادی تک دهانه و یک طبقه دو بعدی مجهز به مهاربند (QEB-MFs) مورد بررسی قرار گرفت و تمامی عوامل موثر از جمله نیروهای محوری و برشی و همچنین لنگر خمشی برای تمامی اعضای قاب در نظر گرفته شد. فرمول ارائه شده با نتایج مدل‌سازی در نرم‌افزار OpenSees کنترل شد. درصد خطا بین نتایج حاصل از فرمول ارائه شده و تحلیل عددی اجزاء محدود بسیار ناچیز بدست آمد. همچنین عملکرد لرزه‌ای این سیستم بر اساس روش FEMA-P695 برای رکوردهای زلزله میدان نزدیک و میدان دور با قاب خمشی مقایسه و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از مهاربند (QEB-MFs) در قاب همگرای فولادی باعث بهبود عملکرد لرزه‌ای این سیستم می‌شود [۹]. قاسمی و همکاران در سال ۲۰۲۰ به بررسی و ارزیابی رفتار لرزه‌ای قاب همگرای فولادی با مهاربند بیضی شکل (ELBRF) از طریق تحلیل دینامیکی افزایشی (IDA) پرداختند. در این تحقیق پارامترهای سختی، مقاومت، شکل‌پذیری و ضریب رفتار قاب محاسبه گردید و برای مدل‌سازی آن از نرم‌افزار OpenSees و از تحلیل دینامیکی و استاتیکی غیرخطی استفاده شد. همچنین مدل‌سازی این قاب بر روی چند گروه مختلف ساختمان بر روی خاک نوع II در نظر گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که مقادیر ۹/۵ و ۶/۵ برای اصلاح ضریب پاسخ در سیستم‌های ELBRF در روش‌های تنش مجاز و حالت حد نهایی به ترتیب یافت و پیشنهاد می‌شود. همچنین منحنی‌های شکنندگی برای اولین بار برای این نوع مهاربند ترسیم شد که به ارزیابی آسیب لرزه‌ای ساختمان کمک می‌کند [۱۰]. قاسمی و همکاران در سال ۲۰۲۰ اقدام به بررسی و مقایسه آزمایشگاهی رفتار لرزه‌ای قاب

⁶ Castigliano

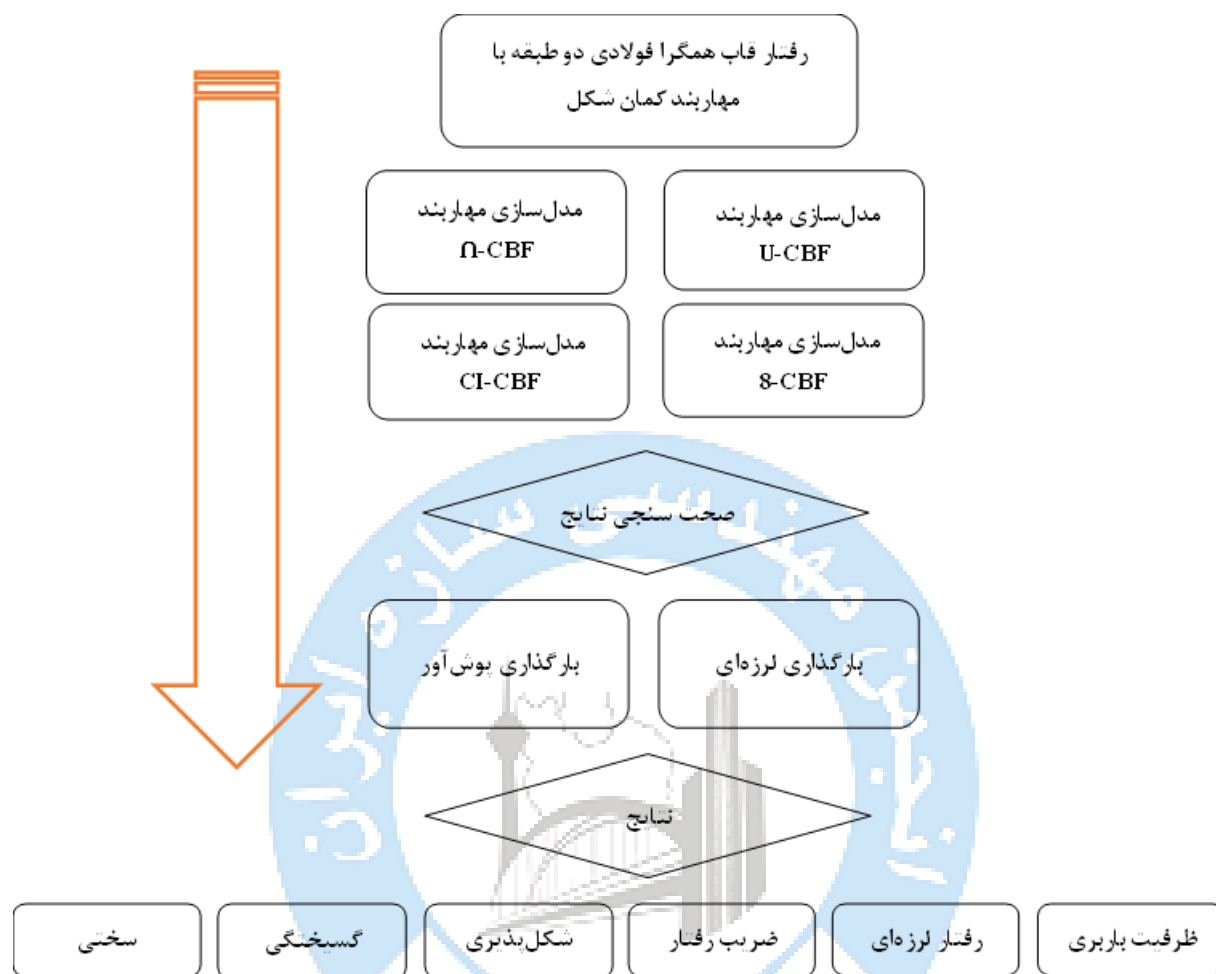
همگرای فولادی مجهز به مهاربند بیضی شکل، X شکل و قاب خمشی پرداختند. در این تحقیق برای اولین بار، رفتار هیستریزس و ظرفیت اتلاف انرژی قاب همگرای فولادی با مهاربند بیضی شکل (ELBRFs) از طریق آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت سپس بوسیله تحلیل عددی به روش اجزاء ارزیابی شد. در این تحقیق عنوان شده که مهاربند (ELBRFs) زمانی که در قسمت میانی قاب قرار گیرد به طور مناسب به تیرها و ستون‌ها متصل می‌شود و علاوه بر بهبود رفتار سازه، مشکلی در طراحی و فضای معماری ایجاد نخواهد کرد. در این تحقیق آزمایشگاهی میزان ظرفیت اتلاف انرژی در مهاربند بیضی شکل در یک طبقه به همراه لوازم جانبی مختلف ارزیابی و با سیستم مهاربندی X شکل و قاب خمشی مقایسه گردید. در این آزمایش پارامترهای مورد سنجش عبارتند از: رفتار هیستریزس، ضریب پلاستیسیته، میزان اتلاف انرژی، میزان مقاومت و سختی، مقاومت برشی و توزیع تنش فون مایزس. نتایج این آزمایش نشان داد که قاب (ELBRFs) در برابر بارهای جانبی از سختی، شکل‌پذیری و ظرفیت اتلاف انرژی خوبی برخوردار است و بطور قابل ملاحظه‌ای باعث بهبود رفتار سازه می‌شود [۱۱].

در اجرای مهاربندهای بیضی یا کمانی شکل با مقطع I می‌توان سطح تماس بال مهاربند را با تیر یا ستون پیچ نمود و یا توسط ورق‌های سخت کننده^۷ جوش داد.

با بررسی تحقیقات گذشته می‌توان دریافت که استفاده از مهاربندهای بیضی یا کمانی شکل می‌تواند منجر به افزایش شکل‌پذیری قاب و در کل بهبود رفتار سازه گردد [۶-۱۱]. بنابراین با توجه به مزایا و ویژگی‌های این مهاربندها در این تحقیق تلاش گردید تا رفتار مهاربند کمانی شکل در حالات نصب مختلف در سازه دو طبقه مورد بررسی قرار گیرد تا با مقایسه نتایج بتوان بهترین الگوی شکلی را معرفی نمود. در واقع با ارائه چهار شکل پیشنهادی، علاوه بر جلوگیری از کمانش خارج از صفحه بتوان میزان شکل‌پذیری و استهلاک انرژی لرزه‌ای قاب همگرای فولادی را افزایش داد. شکل شماره ۲ مراحل انجام این تحقیق را نشان می‌دهد.



⁷ Stiffener



شکل ۲ فلوجارت روند انجام تحقیق

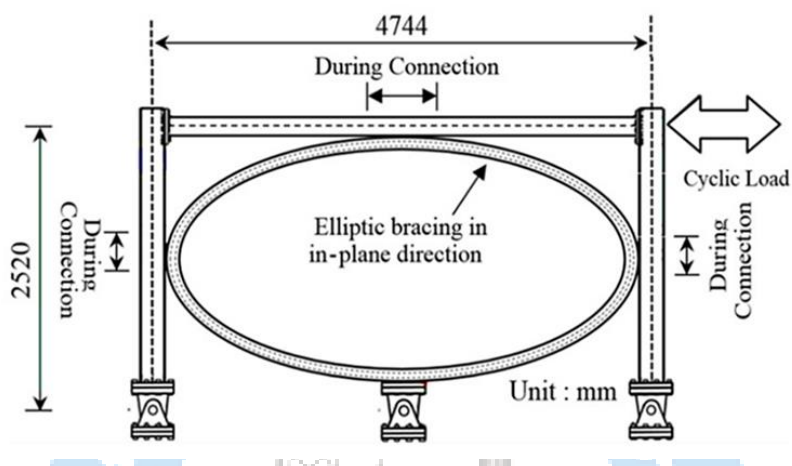
۲- مدل سازی عددی

۲-۱- مدل مرجع

در تحقیق مرجع که توسط قاسمی و همکاران در سال ۲۰۱۶ انجام شده، قاب‌های همگرای فولادی با مهاربندهای ضربداری^۸، زانویی^۹، شورون^{۱۰}، بیضی شکل^{۱۱} و قاب خمشی^{۱۲} مورد تحلیل و مقایسه قرار گرفت. در این تحقیق مدل دارای مهاربند بیضی شکل که مختصراً EL-BRACE نامگذاری شده بعنوان یک مدل جدید معرفی شد که دارای رفتار بهینه‌تری در مقایسه با سایر مهاربندها می‌باشد و محدودیتی در فضای معماری ایجاد نمی‌کند. مقطع ستون این قاب IPB250 به طول ۲/۵ متر، مقطع تیر IPB175 به طول ۴/۷ متر و مقطع

⁸ X-BRACE⁹ K-BRACE¹⁰ V-BRACE¹¹ EL-BRACE¹² MRF

مهاربند بیضی شکل IPB100 به شعاع بلند و کوتاه به ترتیب ۲/۲۵ و ۱/۲۵ متر در نظر گرفته شد. مدل‌سازی این قاب به روش اجزاء محدود با نرم‌افزار آباکوس انجام شد و تحت بارگذاری جانبی قرار گرفت. در نهایت منحنی هیستریزیس و پوش‌آور آن استخراج گردیده و به روش پرستلی و پائولی و روش چوپرا منحنی پوش‌آور دو خطی گردیده و ضریب اضافه مقاومت، ضریب شکل‌پذیری و ضریب رفتار و نیز نسبت شکل‌پذیری آن‌ها محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفت [۶]. تحقیق حاضر براساس یک مطالعه عددی به روش محاسبات اجزاء محدود با نرم‌افزار آباکوس است که به بررسی رفتار چرخه‌ای قاب فولادی همگرای تقویت شده با استفاده از مهاربندهای کمافی شکل در حالات نصب متفاوت در یک سازه دو طبقه می‌پردازد.

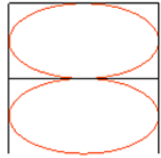
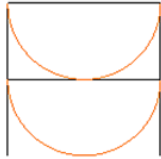
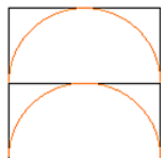
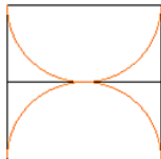
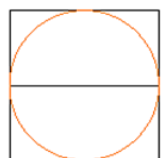


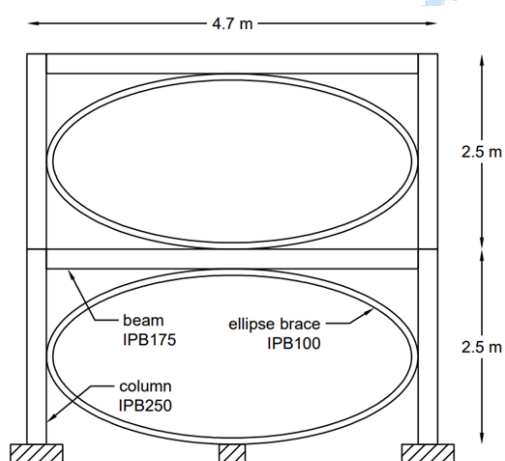
شکل ۳ مهاربند بیضی شکل مورد مطالعه در تحقیق مرجع [۶]

۲-۲- مدل‌های پیشنهادی

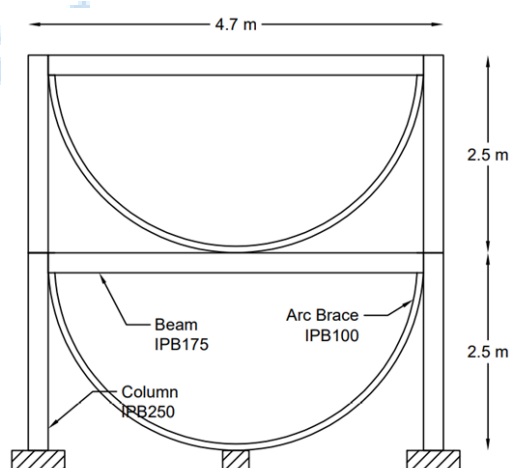
در این تحقیق به استناد و الگوگیری از تحقیق مرجع، برای نصب مهاربند کمافی شکل در سازه دو طبقه، چهار الگوی شکلی متفاوت در نظر گرفته شده است. جدول شماره ۱ مشخصات و تصاویر شماره ۴ تا ۸ جزئیات مهاربندها را نشان می‌دهد.

جدول ۱ نامگذاری و مشخصات مدل‌های پیشنهادی

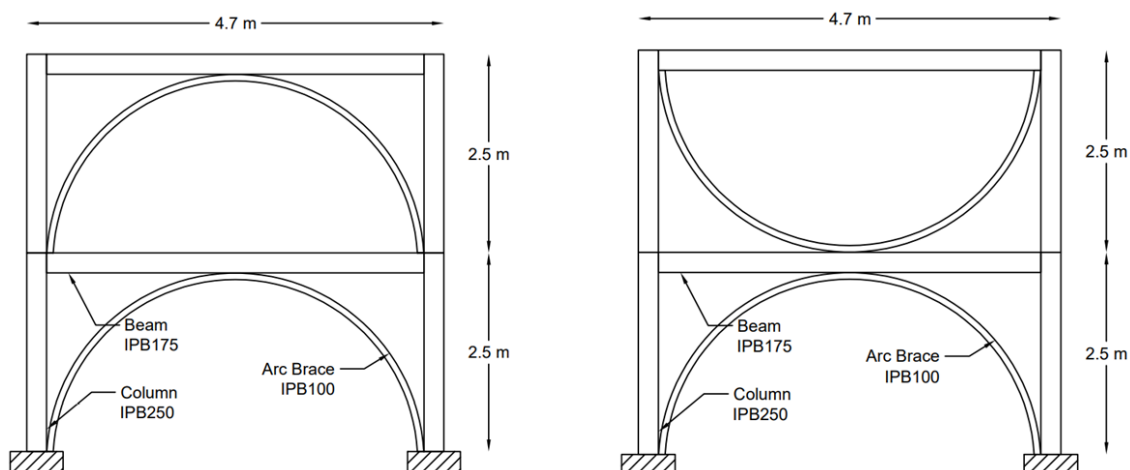
شماطیک	مهاربند	تیر	ستون	طبقه	ارتفاع قاب	دعانه قاب	نام	ردیف
	مقطع	مقطع	مقطع	تعداد	mm	mm		
	IPB-100	IPB-175	IPB-250	۲	۵۰۰۰	۴۷۰۰	EL-CBF	۱
	IPB-100	IPB-175	IPB-250	۲	۵۰۰۰	۴۷۰۰	U-CBF	۲
	IPB-100	IPB-175	IPB-250	۲	۵۰۰۰	۴۷۰۰	Ω -CBF	۳
	IPB-100	IPB-175	IPB-250	۲	۵۰۰۰	۴۷۰۰	S-CBF	۴
	IPB-100	IPB-175	IPB-250	۲	۵۰۰۰	۴۷۰۰	CI-CBF	۵



شکل ۵ جزئیات مدل EL-CBF

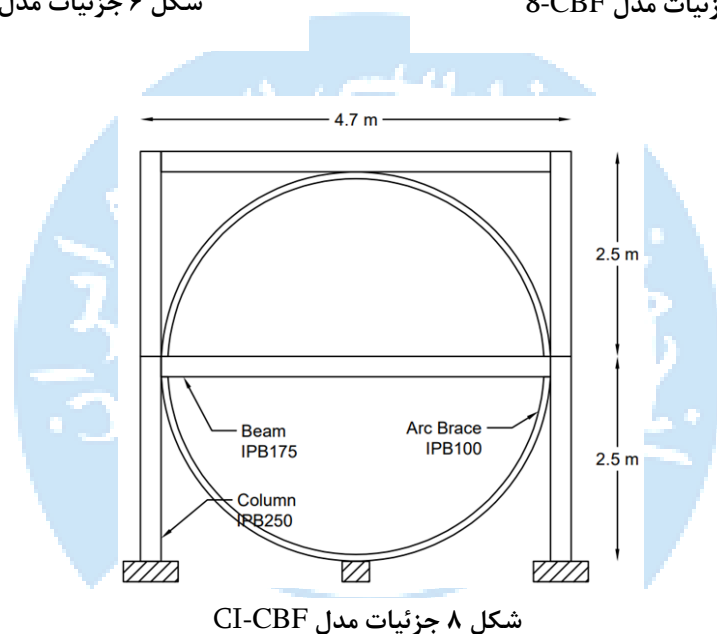


شکل ۴ جزئیات مدل U-CBF



شکل ۶ جزئیات مدل Ω-CBF

شکل ۷ جزئیات مدل 8-CBF



شکل ۸ جزئیات مدل CI-CBF

۲-۳- نحوه مدل سازی

در نرم افزار آباکوس برای ترسیم قطعات این قاب فولادی به همراه مهاربند نیز از روش مندرج در جدول شماره ۲ استفاده گردید.

جدول ۲ تکنیک رسم قطعات به تفکیک الگوهای شکلی

تکنیک رسم	حالت	نام شکل	ردیف
SHELL	Deformable 3D	ستون	۱
SHELL	Deformable 3D	تیر	۲
SWEEP	Deformable 3D	مهاربند کمافی	۳

۳-۴- خصوصیات مصالح

در این تحقیق به استناد از مدل مرجع خصوصیات رفتاری فولاد طبق استاندارد ASTM-A36 استفاده گردید. میزان تنش تسلیم فولاد تیر، ستون و مهاربند به ترتیب برابر با ۳۲۴/۶، ۳۵۰/۸ و ۳۱۰ مگاپاسکال در نظر گرفته شد. مدول الاستیسیته فولاد ۲۰۰ گیگاپاسکال و ضریب پواسون ۰/۲۶ در نظر گرفته شد. جدول شماره ۲ مشخصات عددی فولاد مدل سازی شده را نشان می دهد [۶].

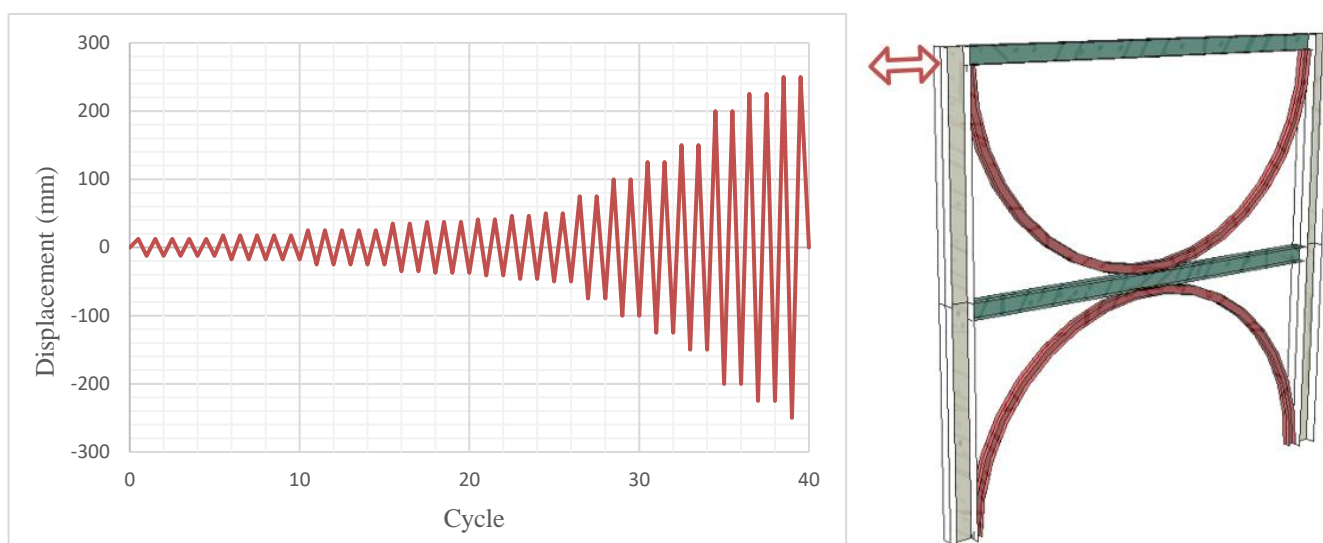
جدول ۳ مقادیر عددی جهت تعیین رفتار فولاد در نرم افزار آباکوس [۶]

ردیف	نوع المان	وزن مخصوص		مدول الاستیسیته	ضریب پواسون
		کیلوگرم	مگاپاسکال		
۱	ستون	۳۵۰/۸	۳۲۴/۶	۲۰۰	۰/۲۶
۲	تیر	۳۱۰			
۳	مهاربند				

۲-۵- بارگذاری

در این تحقیق بارگذاری مطابق آنچه در مقاله مرجع اعمال شده در نظر گرفته شد. بدین ترتیب در قسمت جانبی و در محل تعیین شده بارگذاری بصورت بار-جابجایی به میزان حداکثر ۲۵۰ میلیمتر اعمال شد. همچنین برای اعمال بار از بارگذاری چرخه‌ای طبق دستورالعمل ATC24 استفاده گردید. بار چرخه‌ای وارده به صورت ۴۲ سیکل رفت و برگشتی در پریودهای زمانی منظم می باشد. این بار شبیه ساز نیروی جانبی لرزه‌ای توسط زلزله است. شکل شماره ۹ محل اعمال بار و الگوی بارگذاری چرخه‌ای را نشان می دهد [۶].





شکل ۹ سمت راست: محل اعمال بارگذاری. سمت چپ: الگوی بارگذاری چرخه‌ای طبق دستورالعمل

[۶] ATC24

۶-۲- اتصالات

در این تحقیق طبق مدل مرجع برای تعیین نوع اتصالات از قید Tie استفاده شده است. قید Tie برای ایجاد چسبندگی ایده آل و جلوگیری از شکست زودرس از ناحیه اتصال مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین کلیه اتصالات اعم از اتصال تیر به ستون و اتصال مهاربند به قاب فولادی از نوع Tie می‌باشد.

۷-۲- تحلیل

در این تحقیق طبق مدل مرجع از تحلیل استاتیکی غیرخطی^{۱۳} استفاده شد [۶]. برای استخراج شکل پوش‌آور در نرم‌افزار آباکوس از تحلیل General Static با تعداد ۱۰۰۰۰ گام^{۱۴} و فاصله هر گام بین ۰/۱ تا ۱ انتخاب شد. همچنین برای استخراج شکل هیستریزیس نیز همان تنظیمات با تفاوت اینکه میزان چرخه بارگذاری در مدت ۴۲ ثانیه اعمال شد و بازه هر گام بین ۰/۱ تا ۴۰ در نظر گرفته شد.

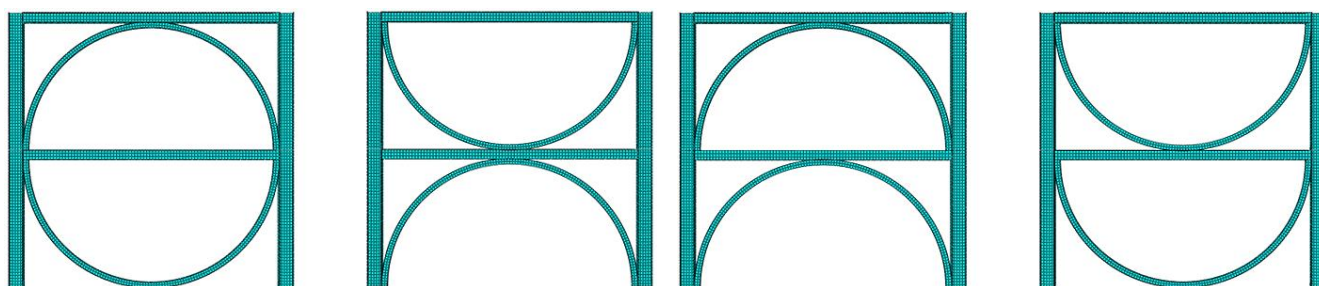
۸-۲- مش بندی

روش حل در نرم افزار آباکوس بر پایه اصول اجزاء محدود و تقسیم مدل به المان‌های کوچکتر می‌باشد که هر کدام از این المان‌های کوچک شده را مش^{۱۵} می‌نامند. بدین منظور نرم‌افزار قادر است تا نسبت تنش و کرنش را در هر کدام از مش‌ها تحلیل کرده و مسئله را حل نماید [۳]. در این تحقیق، به استناد از تحقیق مرجع برای مش بندی فولاد از تکنیک Structure استفاده شد. اندازه مش برای المان‌های ستون، تیر و مهاربند به استناد از مقاله مرجع به ترتیب ۵۵، ۵۵ و ۴۰ میلیمتر در نظر گرفته شد [۶]. شکل شماره ۱۰ مش بندی مدل‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

¹³ General static

¹⁴ Step

¹⁵ Mesh



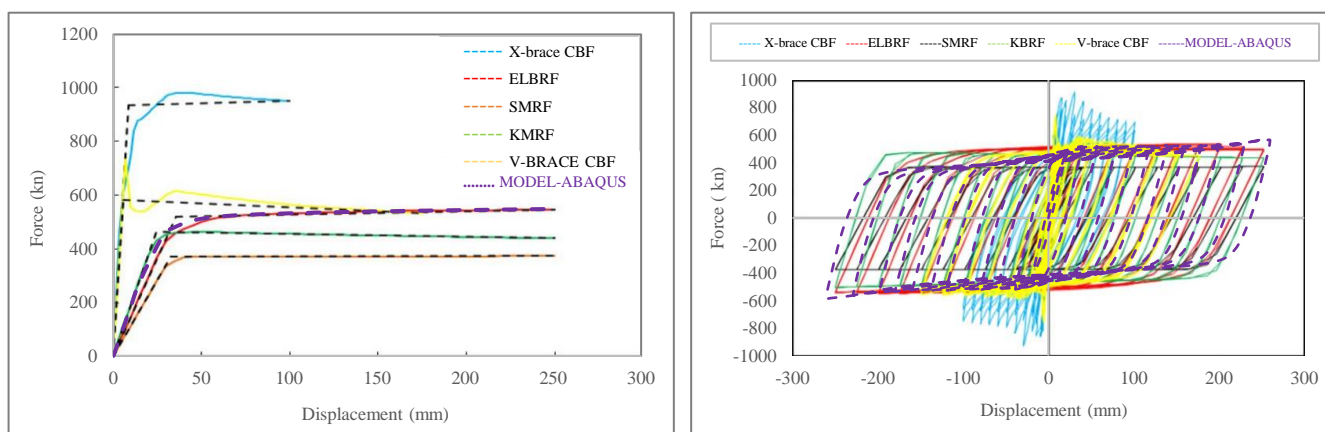
شکل ۱۰ مش بندی المان‌های فولادی در نرم افزار آباکوس

۳- نتایج صحت سنجی

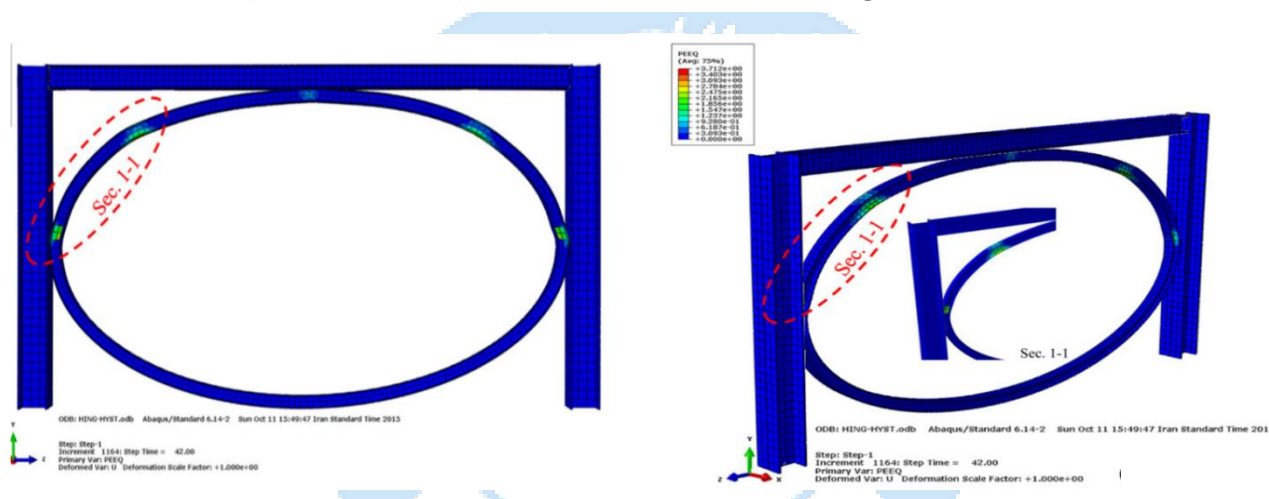
با عنایت به مدل‌سازی عددی در نرم افزار آباکوس مشخص گردید که انطباق خوبی بین نتایج مدل‌سازی عددی با مدل تحقیق مرجع برقرار می‌باشد. با مقایسه نتایج بدست آمده از مدل‌سازی عددی مشخص گردید که مهاربند بیضوی شکل قبل از ستون یا تیر دچار آسیب می‌گردد که در هنگام بهسازی می‌توان این عضو را تعویض نمود. جدول شماره ۳ نتایج مربوط به صحت سنجی مدل‌سازی عددی را نشان می‌دهد. همچنین شکل شماره ۱۳ تغییر شکل‌های پلاستیک (PEEQ)^{۱۶} را در سازه فولادی نشان می‌دهد که در قسمت‌های مشخص شده بر اساس طیف رنگی (کانتور رنگی) میزان شدت آسیب مشخص شده.



¹⁶ Equivalent Plastic Strain



شکل ۱۲ مقایسه و همپوشانی نمودار پوش‌آور و هیستریزیس مدل عددی این تحقیق با تحقیق مرجع [۶]



شکل ۱۱ نمایش تغییر شکل‌های پلاستیک با کانتور رنگی [۶]

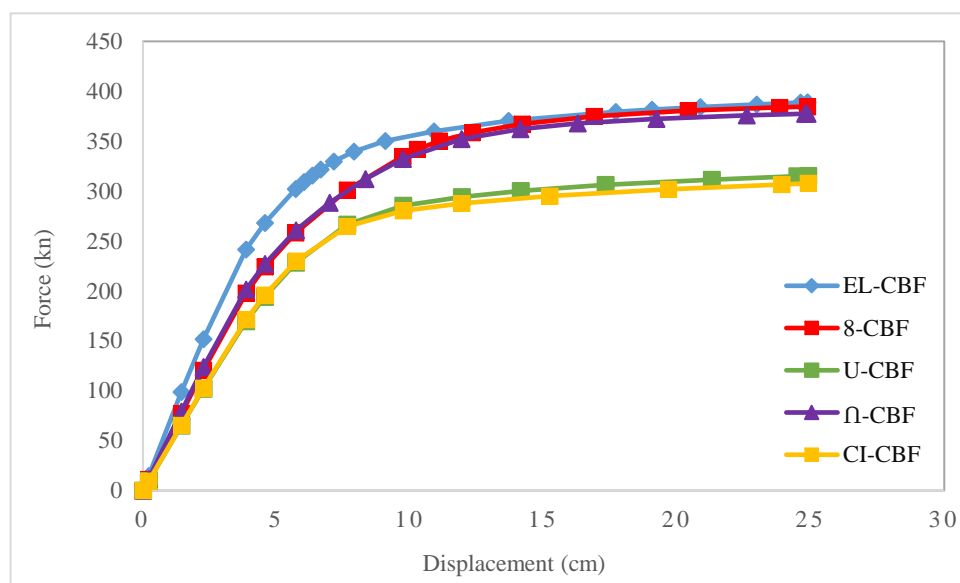
۴- یافته‌ها

۴-۱- ظرفیت باربری

طبق نتایج بدست آمده مشخص گردید که مدل EL-CBF عملکرد بهتری در جذب و انتقال نیروهای وارده داشته. همچنین مشاهده گردید مدل‌هایی که مهاربند تقویتی آن‌ها در طبقه فوقانی به تیر متصل است، عملکرد بهتری در مقایسه با سایر مهاربندها از خود نشان دادند. بطوریکه تماس بین مهاربند و تیر باعث افزایش ظرفیت باربری قاب می‌شود. در ادامه نتایج نشان داد که مدل‌های CI-CBF و U-CBF دچار کاهش شدید مقاومت می‌شوند که می‌تواند ناشی از گسیختگی زودرس در ناحیه اتصالات باشد. بنابراین با اتصال مهاربند فوقانی به تکیه‌گاه کف، میزان ظرفیت باربری جانبی قاب‌ها تا حد چشمگیری افزایش می‌یابد. تا جایی که مهاربند و تیر میانی به ظرفیت نهایی مقاومت خود می‌رسند. جدول و شکل شماره ۴ و ۱۴ میزان ظرفیت باربری مدل‌های مورد مقایسه را نشان می‌دهند.

جدول ۴ مقایسه حداکثر میزان ظرفیت باربری و درصد تغییرات مدل‌ها نسبت به یکدیگر

نام مدل	حداکثر ظرفیت باربری (کیلو نیوتن)	میزان تغییر نسبت به نمونه EL-CBF (درصد)
EL-CBF	۳۸۹/۲	٪۱۰۰
U-CBF	۳۱۵/۴	٪۸۱
Ω -CBF	۳۷۷/۵	٪۹۷
8-CBF	۳۸۴/۶	٪۹۸/۸
CI-CBF	۳۰۷/۸	٪۷۹



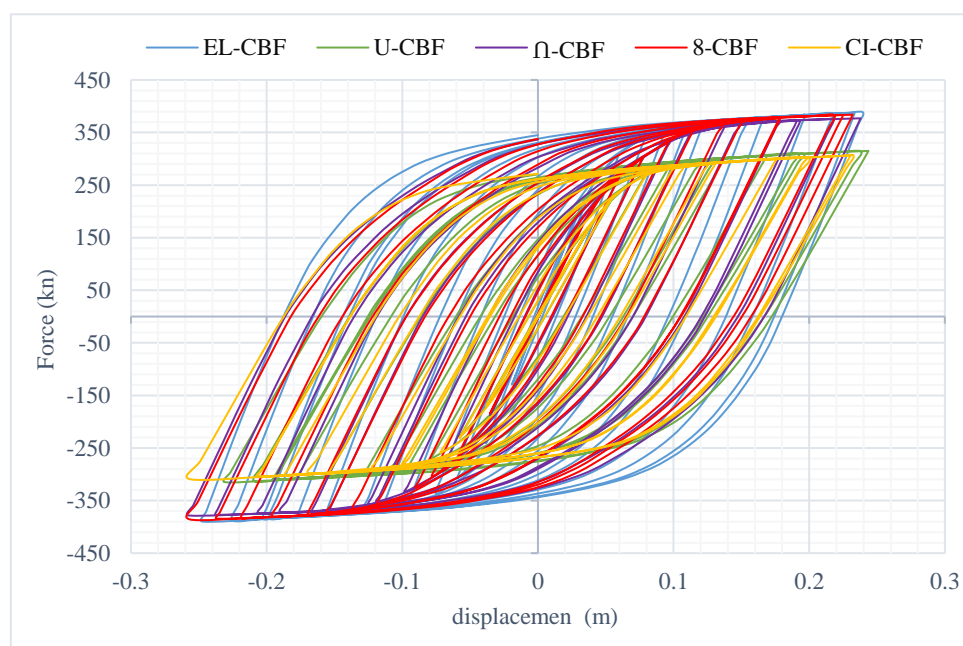
شکل ۱۳ نمودار پوش‌آور مدل‌ها و مقایسه آن‌ها با یکدیگر

۲-۴- رفتار لرزه‌ای

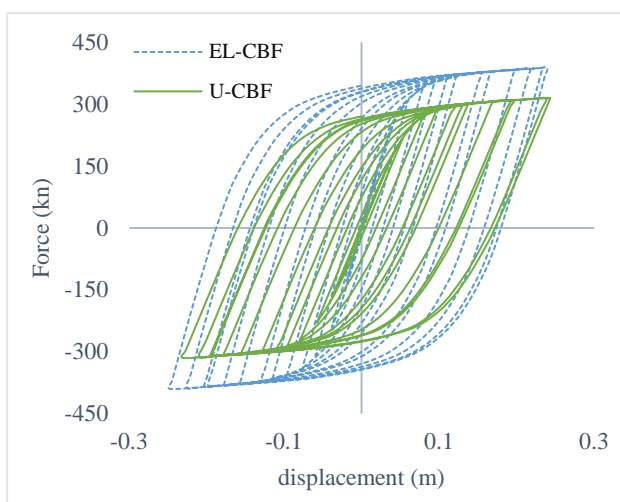
رفتار هیستریزس سازه‌ها متأثر از میزان ظرفیت باربری و تغییر چرخه‌های پیوسته در بارگذاری رفت و برگشتی سازه می‌باشد. به گونه‌ای که اگر چرخه‌های هیستریزس باریک باشند، نشان دهنده دوام و مقاومت کم در برابر زلزله بوده و سازه توان اندکی از خود برای جذب و اتلاف انرژی بروز می‌دهد و اگر حلقه‌های هیستریزس پهن باشند، به معنای استعداد خوب مقاومت در برابر زلزله بوده و سازه ظرفیت زیادی جهت اتلاف انرژی دارد [۱۸]. جدول شماره ۵ تنش تسلیم، تنش گسیختگی و شکل‌پذیری مدل‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌های هیستریزس شماره ۱۶ تا ۱۹ مشخص گردید که تمامی مدل‌ها در چرخه‌های بارگذاری دچار افزایش سختی می‌گردند. این پدیده ناشی از افزایش مقاومت در ناحیه پلاستیسیته رفتار فولاد از حالت باربرداری به بارگذاری می‌باشد. همچنین با توجه به شکل شماره ۱۵ مشخص گردید که منحنی هیستریزس یا رفتار چرخه‌ای مدل 8-CBF و Ω -CBF مشابه با نمونه EL-CBF می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص گردید که مدل‌های U-CBF و CI-CBF دچار آفت مقاومت می‌گردند اما حلقه‌های هیستریزس نسبت به نمونه EL-CBF پهن‌تر هستند که نشان از شکل‌پذیری این دو مدل نسبت به سایر مدل‌های مورد مقایسه دارند.

جدول ۵ مقایسه تنش تسلیم، تنش گسیختگی و شکل پذیری مدل های مورد مطالعه

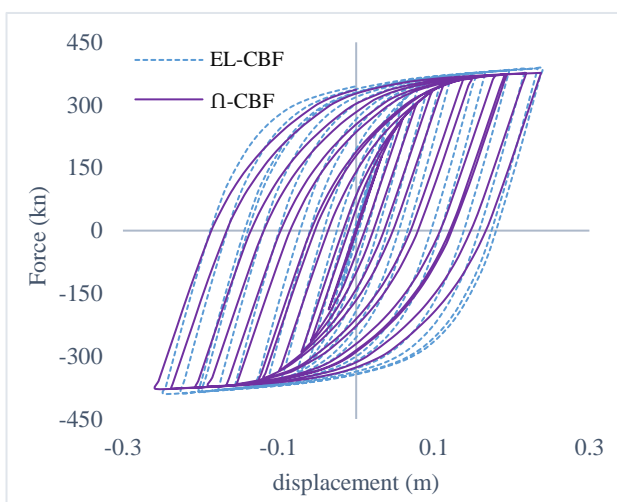
شکل پذیری	نقطه ماکزیمم		نقطه تسلیم		نام مدل
	μ	$\Delta m / \text{mm}$	Peak Point / kn	$\Delta y / \text{mm}$	
۴/۵۵	۲۴/۸۸	۳۸۹/۱۶	۳/۸۵	۲۴۱/۵۰	EL-CBF
۳/۸۰	۲۴/۹۰	۳۱۵/۴۰	۴/۵۶	۱۹۴/۱۶	U-CBF
۴	۲۴/۸۸	۳۷۷/۵۰	۳/۸۵	۲۰۱/۴۵	Ω -CBF
۳/۹	۲۴/۸۷	۳۸۴/۶۳	۳/۸۵	۱۹۷/۸۷	CBF-8
۴/۰۸	۲۴/۹۰	۳۰۷/۷۵	۳/۸۶	۱۷۱/۳۴	CI-CBF



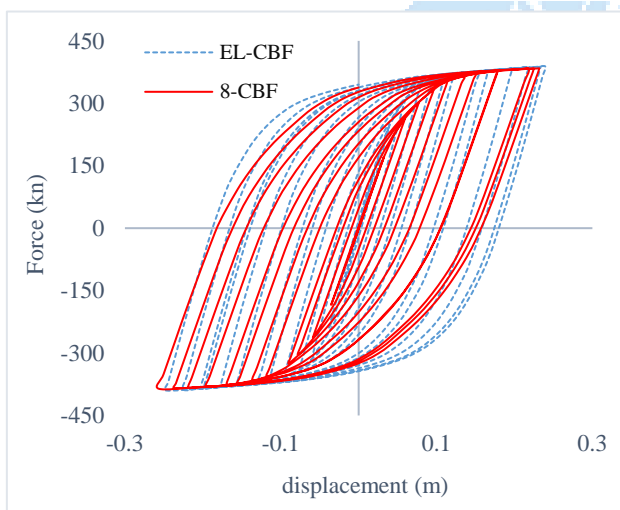
شکل ۱۴ مقایسه منحنی هیستریزیس مدل های مورد مطالعه



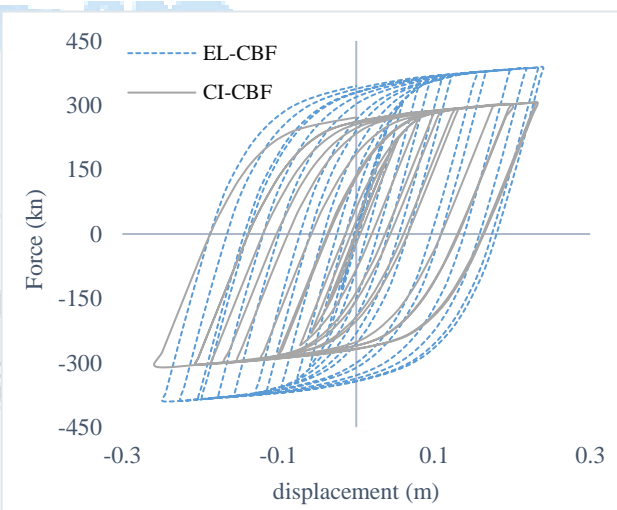
شکل ۱۶ مقایسه منحنی هیستریزیس مدل U-CBF و EL-CBF



شکل ۱۵ مقایسه منحنی هیستریزیس مدل Ω-CBF و EL-CBF



شکل ۱۸ مقایسه منحنی هیستریزیس مدل 8-CBF و EL-CBF

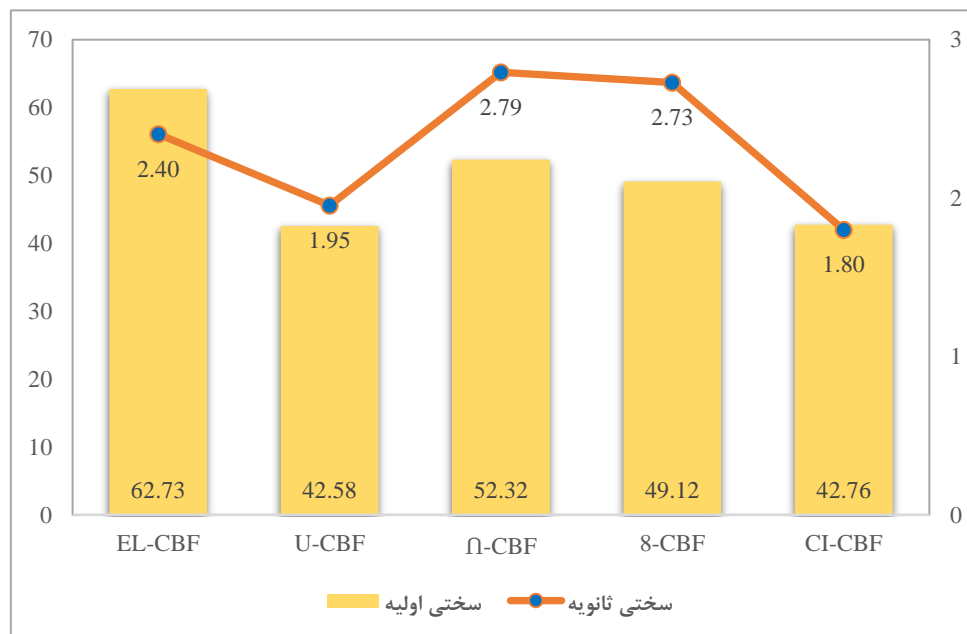


شکل ۱۷ مقایسه منحنی هیستریزیس مدل CI-CBF و EL-CBF

۳-۴- میزان سختی مدل

سختی یکی از عوامل تعیین کننده‌ای است که برای بررسی رفتار سازه‌ها و از جمله قاب‌ها مورد بررسی و استفاده قرار می‌گیرد. برای بررسی اثر سختی شکل و نوع مهاربندهای تقویتی در نظر گرفته شده بر روی قاب‌ها، از شکل نیرو - تغییر مکان استفاده گردید. شیب این شکلها در محدوده ی ارتجاعی بیانگر سختی اولیه یا سختی الاستیک و در محدوده گسیختگی بیانگر سختی ثانویه یا سختی پلاستیسیته هر یک از قاب‌ها می‌باشد. میزان کاهش سختی نیز از حاصل تفریق سختی اولیه نسبت به سختی ثانویه بدست می‌آید [۱۲]. مطابق با شکل شماره ۲۳ عدم اتصال مهاربند به تیر میانی بیشترین تاثیر بر روی کاهش سختی قاب‌ها خواهد داشت. بطوریکه مدل‌های U-CBF و CI-CBF دارای بیشتری میزان کاهش سختی به میزان ۵۹٪ در میان مدل‌های مورد مقایسه می‌باشند. از طرفی قاب تقویت شده با مهاربند بیضی شکل دارای کمترین میزان کاهش سختی به میزان ۳۹٪ است که نشان دهنده رفتار تردتر این مهاربند در مقایسه با دیگر مدل‌های مورد بررسی می‌باشد. لذا با توجه به اینکه عمدتاً هدف از ایجاد بادبند یا مهاربندها افزایش سختی در سازه‌ها می‌باشد یا در جهت

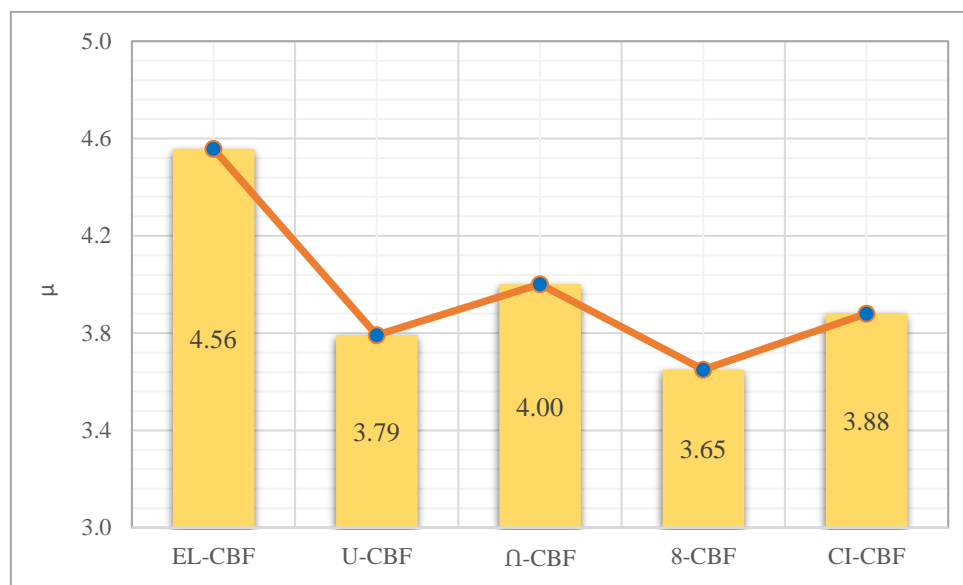
کنترل اثرات $P-\Delta$ برای جلوگیری از آسیب دیدن اجزاء غیرسازه‌ای، حفظ تجهیزات و لوازم حساس در ساختمان‌های خاص و غیره می‌توان به این مهم دست یافت.



شکل ۱۹ مقایسه سختی اولیه و ثانویه تمامی مدل‌های مورد مطالعه

۴-۴- شکل پذیری

شکل‌پذیری نشان دهنده توانایی یک عضو در جذب و استهلاک انرژی در اثر تغییر شکل‌های غیر خطی می‌باشد [۱۸]. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در مدل‌هایی که در قسمت فوقانی دارای تکیه‌گاه می‌باشند در مقایسه با سایر مدل‌های مورد مقایسه، از شکل‌پذیری بیشتری برخوردارند. همچنین به استناد از شکل هیستریزس این مدل‌ها، نسبت شکل‌پذیری (μ جانبی) در محدوده‌ی پلاستیسیتیته در چرخه‌های متوالی افزایش می‌یابد و این نشان دهنده آن است که مهاربندهای با سه تکیه‌گاه در کف دارای چرخه‌های پایدار هیستریزس و رفتار چرخه‌ای بهتری می‌باشند. اما از سوی دیگر تنزل مقاومت و افت سختی در چرخه‌های هیستریزس در اینگونه قاب‌ها بیانگر ظرفیت کمتر جذب انرژی در این سیستم می‌باشد. با توجه به بررسی نتایج حاصل از شکل‌های هیستریزس و پوش‌اُور نیز مشخص گردید که مهاربندهایی که در طبقه تحتانی به تیر بالایی متصل هستند دارای شکل‌پذیری کمتر می‌باشند. در نهایت مدل‌های EL-CBF و Ω -CBF با نسبت شکل‌پذیری به ترتیب ۴/۵۶ و ۴ دارای بیشترین نسبت شکل‌پذیری و مدل‌های CI-CBF، U-CBF و 8-CBF با نسبت شکل‌پذیری به ترتیب ۳/۸۸، ۳/۷۹ و ۳/۶۵ دارای کمترین تغییر شکل در مقایسه با سایر مدل‌ها هستند. شکل شماره ۲۰ میزان شکل‌پذیری مدل‌ها را با یکدیگر مقایسه می‌نماید.



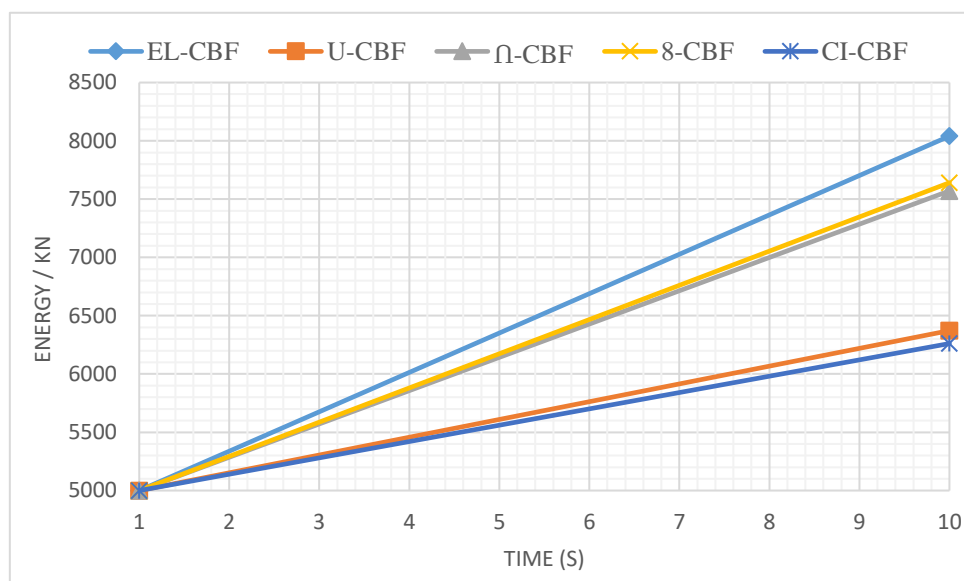
شکل ۲۰ مقایسه نسبت شکل پذیری مدل‌های مورد مطالعه

۴-۵- استهلاک انرژی

استهلاک انرژی یکی از مهم‌ترین پارامترها در رفتار سازه هنگام وقوع زلزله است. انرژی مستهلک شده در هر چرخه هیستریزس برابر مساحت زیر منحنی در همان چرخه هیستریزس می‌باشد. انرژی مستهلک شده تجمعی برابر مجموع انرژی مستهلک شده در تمامی چرخه‌های قبلی است [۱۸]. در این تحقیق میزان انرژی مستهلک شده تجمعی تمامی مدل‌ها طی مدت زمان یک تا ده ثانیه (از لحظه شروع تا پایان بارگذاری) در شکل شماره ۲۱ نمایش داده شده است. طبق نتایج بدست آمده مشخص گردید که قاب‌های دارای مهاربند محصور شده با تیر میانی از قابلیت استهلاک انرژی بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار هستند. بنابراین استفاده از روش محصورشوندگی مهاربند با تیر میانی، در بهبود رفتار چرخه‌ای قاب‌ها مؤثر است. همچنین مشخص گردید که مدل EL-CBF دارای بیشترین میزان استهلاک انرژی در مقایسه با سایر مدل‌ها می‌باشد. این موضوع به این معناست که افزایش مقاومت همراه با شکل‌پذیری متعاقباً باعث افزایش میزان جذب و استهلاک انرژی می‌گردد. همچنین مشخص گردید که اتصال مهاربند به تیر میانی میزان استهلاک انرژی را بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. بطوریکه در مدل‌های 8-CBF و Ω-CBF میزان انرژی مستهلک شده بطور محسوسی در مقایسه با مدل‌های U-CBF و CI-CBF افزایش یافته است.

جدول ۶ مقایسه میزان استهلاک انرژی لرزه‌ای مدل‌های مورد مطالعه

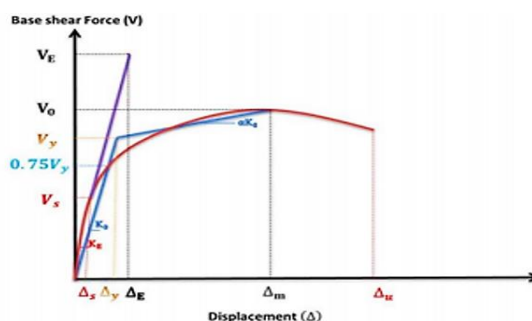
CI-CBF	CBF-8	Ω-CBF	U-CBF	EL-CBF
(kn.mm)	(kn.mm)	(kn.mm)	(kn.mm)	(kn.mm)
۶۲۶۱/۱۵	۷۶۴۰/۷۴۴	۷۵۷۰/۶۲۵	۶۳۷۲/۱۴۳	۸۰۴۰/۲۷۵



شکل ۲۱ مقایسه میزان استهلاك انرژی لرزه‌ای مدل‌های مورد مطالعه

۴-۶- ضریب رفتار

ضریب رفتار سازه ضریبی است که عملکرد غیر ارتجاعی سازه را در بر دارد و نشانگر مقاومت پنهان سازه در مرحله غیر ارتجاعی است. ضریب رفتار سازه (R) به ضریب شکل‌پذیری (R_{μ}) و ضریب اضافه مقاومت (R_{Ω}) بستگی دارد [۱۲]. هنگامی که یکی از اعضای سازه به حد تسلیم می‌رسد با تشکیل تغییرشکل‌های پلاستیک به تدریج سختی سازه کاهش می‌یابد ولی سازه همچنان پایدار است و قادر است تا در مقابل بارهای جانبی از خود مقاومت نشان دهد. وقتی که نیروی خارجی باز هم افزایش یابد مفاصل بیشتری در سازه ایجاد می‌شود تا جایی که سازه از نظر استاتیکی ناپایدار شده و دیگر توان تحمل بار جانبی اضافی را نداشته باشد. به میزان مقاومت اضافه‌ای که سازه بعد تشکیل اولین تغییرشکل پلاستیک تا مرحله‌ی ناپایداری از خود نشان می‌دهد ضریب اضافه مقاومت (Ω) نامیده می‌شود [۱۸]. برای محاسبه ضریب رفتار ستون‌های تقویت شده در این تحقیق ابتدا منحنی پوش‌آور به روش پریستلی و پائولی^{۱۷} دو خطی شده و سپس ضریب رفتار با روش چوپرا^{۱۸} محاسبه گردیده. برای محاسبه ضریب رفتار باید مقادیر برش پایه اولین تغییرشکل پلاستیک (V_s) و تغییر مکان متناظر با آن (Δ_s)، برش پایه ماکزیمم (V_y) و تغییر مکان متناظر با آن (Δ_y)، حداکثر ظرفیت باربری (V_0) و جابجایی متناظر با آن (Δ_m) و نسبت شکل‌پذیری (μ) را طبق شکل شماره ۱۱ از منحنی پوش‌آور استخراج شود و سپس با استفاده از روابط شماره ۱ تا ۴ ضریب رفتار محاسبه گردد.



شکل ۲۲ مکان‌گزینی پارامترهای موثر جهت دوخطی کردن نمودار پوش‌آور [۹]

¹⁷ Priestley & Paulay

¹⁸ Chopra

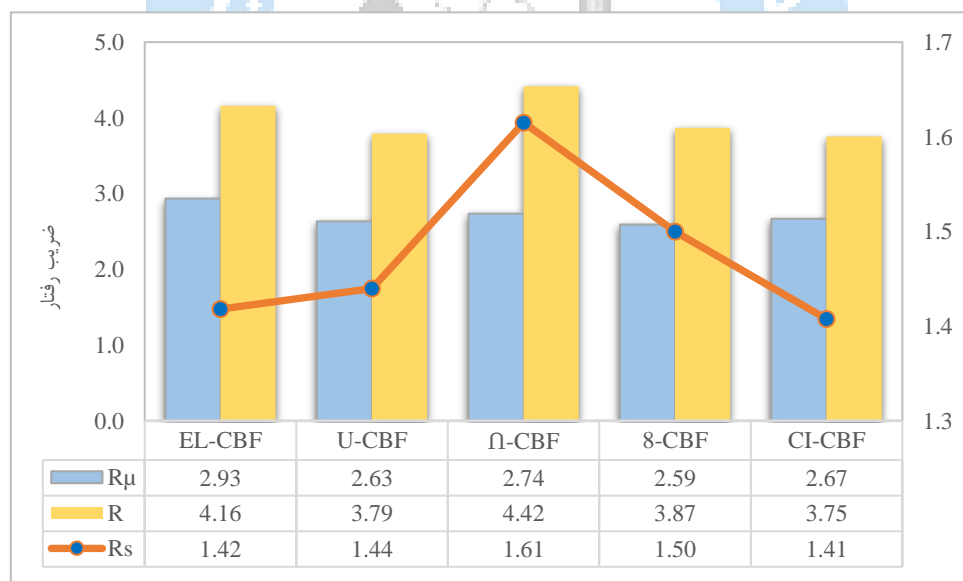
$$\mu = \frac{\Delta_m}{\Delta_y} \quad (1)$$

$$R_s = \frac{V_0}{V_s} \quad (2)$$

$$\Omega = \frac{V_y}{V_d} \quad (3)$$

$$R = R_\Omega \cdot R_\mu \quad (4)$$

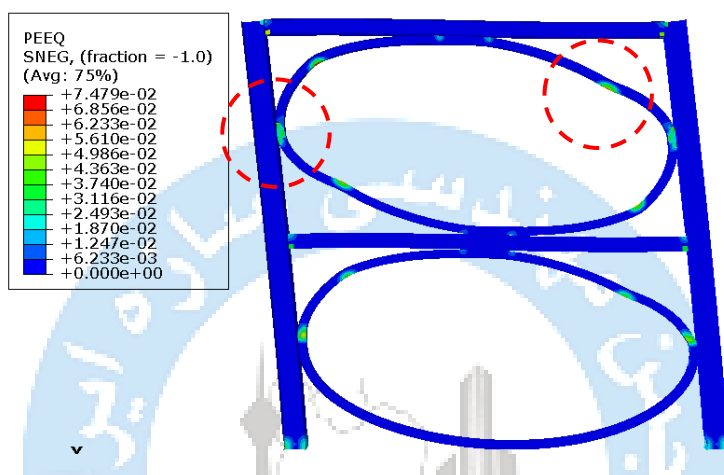
هر چه میزان ضریب سازه بزرگتر و مقاومت آن کاهش کمتری داشته باشد، میزان استهلاک انرژی لرزه‌ای در حالت غیرارتجاعی بیشتر بوده و سازه رفتار مطلوب‌تری خواهد داشت. ضریب رفتار از حاصل ضرب ضریب شکل‌پذیری و ضریب اضافه مقاومت بدست می‌آید. ضریب شکل‌پذیری سازه برابر با نسبت جابجایی نهایی به جابجایی تسلیم سازه می‌باشد [۱۲]. در این تحقیق نیز شکل‌پذیری قاب‌ها و ضریب رفتار آن‌ها مطابق شکل شماره ۲۲ بررسی و ضمیمه شده است. مطابق با نتایج بدست آمده نیز مدل‌های Ω -CBF و EL-CBF با ضرائب به ترتیب ۴/۴۲ و ۴/۱۶ دارای بزرگترین ضریب رفتار و مدل CI-CBF با ضریب ۳/۷۵ دارای کمترین ضریب رفتار می‌باشد. همچنین نتایج بدست آمده نشان داد که مدل‌هایی که مهاربند آن‌ها به تیر متصل شده دارای شکل‌پذیری بیشتری نسبت به مدل‌های دارای سه تکیه‌گاه در کف می‌باشند و به همین جهت تاثیر زیادی در میزان ضریب رفتار آن‌ها وجود خواهد داشت. همچنین دوام این مدل‌ها در برابر بارهای جانبی بخصوص بارهای لرزه‌ای بیشتر می‌باشد. ضریب شکل‌پذیری مدل‌های 8-CBF و Ω -CBF به میزان به ترتیب ۲/۵۹ و ۲/۷۴ دارای بیشترین مقدار می‌باشد.



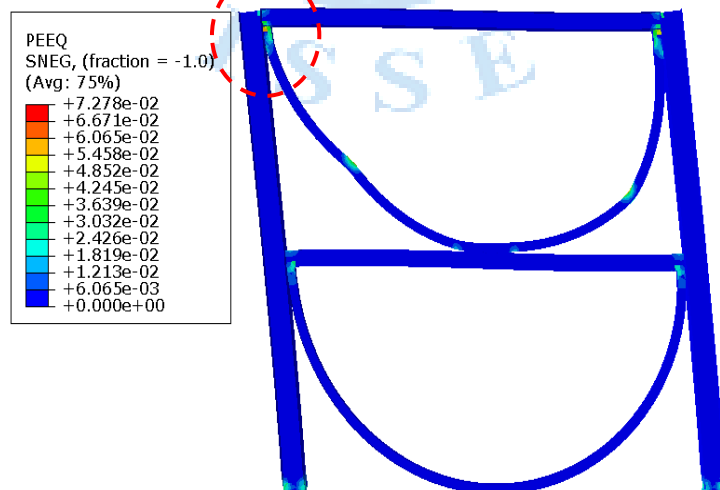
شکل ۲۳ مقایسه ضریب شکل‌پذیری، ضریب اضافه مقاومت و ضریب رفتار مدل‌های مورد مطالعه

۷-۴- توزیع کرنش‌های پلاستیک

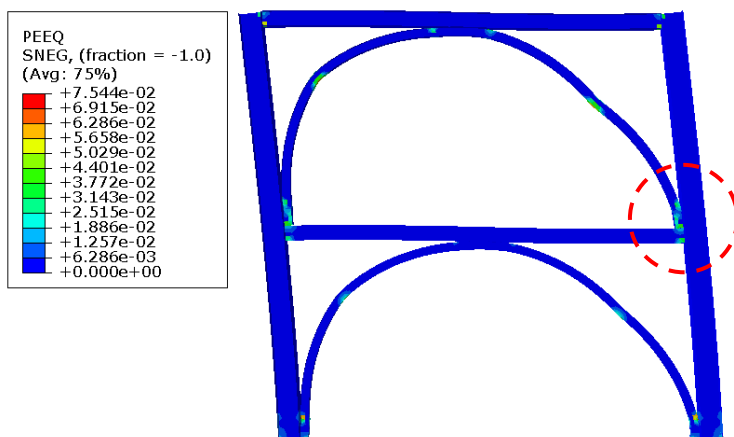
یکی از اهداف مهم در این تحقیق بررسی آسیب پلاستیسیته در قاب‌ها می‌باشد. بطوریکه بتوان با ایجاد تمهیداتی، آسیب‌های پلاستیسیته و تشکیل تغییرشکل‌های پلاستیک را تا حد امکان از اتصالات، تیر و ستون دور کرده و آن را معطوف به مهاربند داخلی نمود تا هنگام بازسازی بتوان با حداقل زمان و هزینه آن را تعویض نمود. شکل شماره ۲۴ تا ۲۸ نحوه تشکیل تغییرشکل‌های پلاستیک در مهاربند و قاب‌ها پس از بارگذاری چرخه‌ای را نشان می‌دهد. با تامل بر روی این تصاویر می‌توان نتیجه گرفت که مدل 8-CBF بیشترین اختلاف را با هدف تحقیق نمایش می‌دهد. در سایر مدل‌ها توزیع کرنش‌های پلاستیک ایجاد شده عمدتاً متمرکز در عضو مهاربندی می‌باشد. اما در مدل 8-CBF توزیع کرنش‌های پلاستیک علاوه بر عضو داخلی نیز در اتصالات، تیر و ستون ایجاد شده.



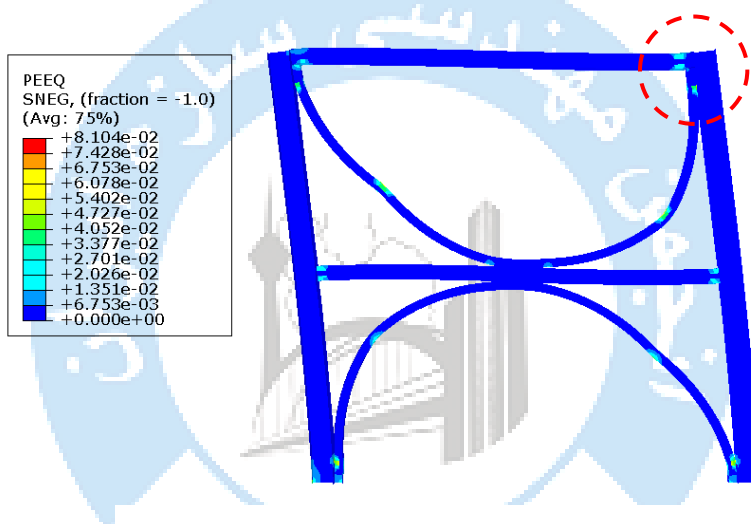
شکل ۲۴ توزیع کرنش‌های پلاستیک در مدل EL-CBF



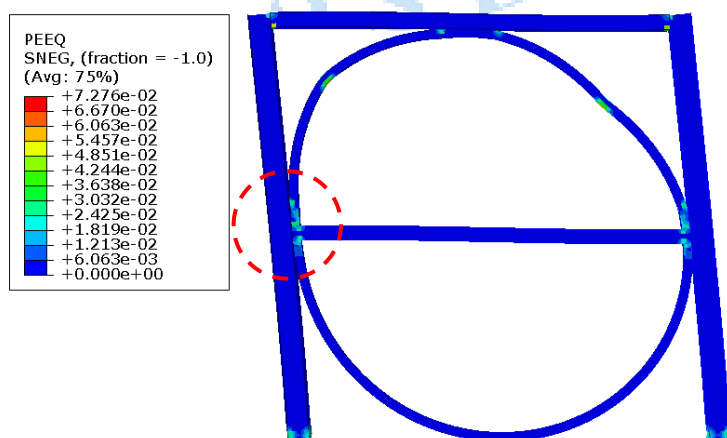
شکل ۲۵ توزیع کرنش‌های پلاستیک مدل U-CBF



شکل ۲۶ توزیع کرنش‌های پلاستیک مدل Ω -CBF



شکل ۲۷ توزیع کرنش‌های پلاستیک مدل CBF-8



شکل ۲۸ توزیع کرنش‌های پلاستیک مدل CI-CBF

۴-۸- شاخص اقتصادی

از دیگر پارامترهای مهم در طراحی، استفاده از سازه‌های اقتصادی و در عین حال دارای عملکرد مطلوب می‌باشد. فولاد جزء مصالحی است که بطور گسترده در ساخت و سازها مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزایای فولاد امروزه به خوبی شناخته شده که از جمله آن شکل‌پذیری، مقاومت بالا و وزن کم می‌باشد. لذا استفاده بهینه از آن‌ها ضمن برآورده نمودن افزایش مقاومت و دوام توام با در نظر گرفتن هزینه اقتصادی از اهمیت بالایی برخوردار است. شاخص اقتصادی بر اساس وزن فولاد مصرفی نسبت به حداکثر ظرفیت باربری و استهلاک انرژی مدل‌ها در جدول شماره ۷ مشخص شده. طبق رنگ‌بندی درج شده در جدول شماره ۷ طیف رنگی سبز به معنای اقتصادی‌ترین حالت مصرفی و طیف رنگی قرمز، بیانگر عدم توجه اقتصادی طرح می‌باشد. بنابه نتایج بدست آمده مشخص شد که مدل‌های 8-CBF و Ω -CBF دارای بهینه‌ترین طرح اقتصادی و مدل‌های CI-CBF و U-CBF جزء گران‌ترین طرح اقتصادی می‌باشد. البته قابل ذکر است که در طرح مقاوم‌سازی اولویت با عملکرد سازه‌ای و رفتار چرخه‌ای آن است و شاخص اقتصادی در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرد. لذا این شاخص بعنوان برتری الگوی شکلی خاصی محسوب نمی‌شود و صرفاً جهت مقایسه انجام شده است.

جدول ۷ شاخص اقتصادی طرح

ردیف	نام مدل	وزن قاب (Kg)	شاخص وزنی بر اساس ظرفیت باربری	شاخص اقتصادی بر اساس استهلاک انرژی لرزه‌ای
۱	EL-CBF	۱۷۲۴	۴/۴۳	۲/۱۴
۲	U-CBF	۱۵۶۰	۴/۹۵	۲/۴۵
۳	Ω -CBF	۱۵۶۰	۴/۱۳	۲/۰۶
۴	8-CBF	۱۵۶۰	۴/۰۶	۲/۰۴
۵	CI-CBF	۱۵۶۰	۵/۰۷	۲/۴۹

۵- نتیجه گیری

هدف اصلی در این تحقیق بررسی رفتار قاب‌های همگرای فولادی تقویت شده با مهاربند کمانی در حالات نصب مختلف بوده است. چنانچه بتوان الگوی شکلی برای نصب و مونتاژ این مهاربندها ارائه داد تا ضمن افزایش ظرفیت باربری و دوام چرخه‌ای نیز طرح اقتصادی گردیده و از همه مهم‌تر در برابر بارهای چرخه‌ای و ایجاد تغییرشکل‌های پلاستیک نیز آسیب‌ها متمرکز در عضو مهاربند داخلی گردد تا بتوان در سریع‌ترین و اقتصادی‌ترین حالت ممکن نسبت به تعویض یا ترمیم آن اقدام نمود و میزان آسیب در ناحیه اتصالات و تیر یا ستون را کاهش داد. نتایج بدست آمده در این تحقیق نیز به شرح زیر می‌باشد:

۱. در مدل‌هایی که مهاربند تقویتی آن در طبقه فوقانی به تیر میانی متصل است شاهد عملکرد بهتری در مقایسه با سایر مهاربندها می‌باشیم. چرا که این اتصال باعث افزایش اصطکاک بین مهاربند و تیر و نیز افزایش سختی قاب گردیده و منجر به افزایش ظرفیت باربری و دوام قاب می‌گردد.
۲. مدل‌های U-CBF و CI-CBF در چرخه بارگذاری بیشترین میزان آفت مقاومت را نشان می‌دهند اما میزان شکل‌پذیری آن‌ها در مقایسه با سایر مدل‌های مورد مقایسه بیشتر است. این مهم در دوام لرزه‌ای بسیار حائز اهمیت خواهد بود.
۳. با توجه به بررسی نتایج حاصل از شکل‌های هیستریزیس و پوش‌آور مشخص گردید که مهاربندهایی که در طبقه تحتانی به تیر بالایی متصل هستند دارای شکل‌پذیری کمتری می‌باشند.

۴. مدل‌های EL-CBF و Ω -CBF با نسبت شکل‌پذیری به ترتیب ۴/۵۶ و ۴ دارای بیشترین نسبت شکل‌پذیری و مدل‌های CI-CBF، U-CBF و CBF-8 با نسبت شکل‌پذیری به ترتیب ۳/۸۸، ۳/۷۹ و ۳/۶۵ دارای کمترین تغییر شکل در مقایسه با سایر مدل‌ها هستند.
۵. قاب‌های دارای مهاربند محصور شده با تیر میانی از قابلیت استهلاک انرژی بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار هستند. لذا مشخص است که استفاده از روش محصورشوندگی مهاربند با تیر میانی در تقویت و بهبود رفتار چرخه‌ای قاب‌ها مؤثر است.
۶. مدل EL-CBF دارای بیشترین میزان درصد استهلاک انرژی در مقایسه با سایر مدل‌های تقویت شده می‌باشد. این مهم به این معنا است که افزایش مقاومت همراه با شکل‌پذیری متناسب باعث افزایش میزان جذب و استهلاک انرژی می‌گردد.
۷. اتصال مهاربند به تیر میانی باعث افزایش میزان استهلاک انرژی لرزه‌ای به میزان قابل توجهی می‌گردد. بطوریکه در مدل‌های CBF-8 و Ω -CBF، انرژی مستهلک شده بطور محسوسی در مقایسه با مدل‌های U-CBF و CI-CBF افزایش یافته است.
۸. مدل‌های Ω -CBF و EL-CBF دارای بزرگترین ضریب رفتار به میزان به ترتیب ۴/۴۲ و ۴/۱۶ و نیز مدل CI-CBF دارای کمترین ضریب رفتار معادل ۳/۷۵ می‌باشد. مدل‌هایی که مهاربند آن‌ها در طبقه فوقانی متصل به تکیه‌گاه نیستند دارای شکل‌پذیری بیشتری نسبت به مدل‌های دارای سه تکیه‌گاه در کف می‌باشد.
۹. ضریب شکل‌پذیری مدل‌های CBF-8 و Ω -CBF به ترتیب ۲/۵۹ و ۲/۷۴ دارای بیشترین مقدار در مقایسه با سایر مدل‌های دیگر می‌باشد.
۱۰. عدم اتصال مهاربند به تیر میانی بیشترین تاثیر بر روی کاهش سختی قاب‌ها خواهد داشت. بطوریکه مدل‌های CI-CBF و U-CBF دارای بیشترین میزان کاهش سختی به میزان ۵۹٪ در میان مدل‌های مورد مقایسه است. از طرفی مدل EL-CBF دارای کمترین میزان کاهش سختی به میزان ۳۹٪ است که نشان دهنده رفتار تردتر این مهاربند در مقایسه با دیگر مدل‌های مورد بررسی می‌باشد.
۱۱. بیشترین تغییر شکل‌های پلاستیک در مدل 8-CBF ایجاد شده. در این مدل تغییر شکل‌های پلاستیک ایجاد شده علاوه بر عضو داخلی نیز در اتصالات، تیر و ستون هم ایجاد گردیده.
۱۲. مدل‌های CBF-8 و Ω -CBF دارای بهینه‌ترین طرح اقتصادی و نیز مدل‌های CI-CBF و U-CBF نیز جز گران‌ترین طرح می‌باشند.
۱۳. مطابق اصول طراحی بر اساس ظرفیت که مبنای طراحی لرزه‌ای است، قاب داخلی عضو تغییر مکان-کنترل و فیوز در قاب همگرای فولادی تقویت شده با قابلیت تعویض می‌باشد تا تمرکز آسیب در آن قرار گیرد و سایر اعضاء اصلی سازه نظیر ستون، تیر و مهاربندها (اعضاء نیرو-کنترل) کمترین خسارت را ببینند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از مهاربند EL-CBF و 8-CBF دارای بهینه‌ترین حالت عملکردی می‌باشند.

سپاسگزاری

قدردانی فراوان از موسسه آموزشی "ماهرشو...!" شهر شیراز جهت همکاری و کوشش‌های موثر که جهت ثمربخش بودن این تحقیق مبذول داشتند.

منابع

- [1] Bagheri. M., Abdullahi. A. (2020). Investigating The Effect Of Deviation From The Center Of Resistance And Stiffness In The Behavior Of Steel Bending Frames. *Basic Scientific Research Quarterly*, 21 (57), 16-27.
- [2] Siondipour. A., Dalvand. A., (2017). Investigating The Nonlinear Behavior Of The Dual Steel Bending Frame And Mega Brace System With High Ductility. *Asas Scientific Research Quarterly*, 18(45), 51-60.
- [3] Zamani.M, Sohaili.S, (2021). Analysis Of The Structural Behavior Of The Y-Shaped Convergent Steel Brace System. *Construction Engineering And Housing Sciences*, 14(3), 47-54.
- [4] Mohammadi. A (2019). Introducing And Investigating The Behavior Of A New Steel Brace With The Ability Of Centralization And Energy Consumption. *Modares Civil Engineering*, 19(1), 117-129.
- [5] Jarhiri. F., Karamati. M. (2017). Improvement Of Long And Irregular Reinforced Concrete Structures With Steel Brace Under Static And Dynamic Nonlinear Analysis. *Ferdowsi Civil Engineering*, 29(2), 75-92.
- [6] Ghasemi Jouneghani, H., Haghollahi, A., Moghaddam, H., & Sarvghad Moghadam, A. (2016). Study Of The Seismic Performance Of Steel Frames In The Elliptic Bracing. *Journal Of Vibroengineering*, 18(5), 2974-2985.
- [7] Saree El-Atlaq, Sahand And Ali Mohammadian, Ramin And Bafté Chi, Haniyeh And Ghasemi Junqani, Habib, 2017, Investigation And Comparison Of The Hysteresis Behavior Of A Bending-Resistant Frame With An Oval Brace And A Cross And Octagonal Brace System, The 9th National Conference On Structure And Steel, Tehran, <https://Civilica.Com/Doc/838117>.
- [8] Betraf, Amiri (2017). Investigating The Possibility Of Using Circular Or Elliptical Sections In The Middle Bracing Sheet As A Fuse (Energy Absorber). *Science And Engineering Elites*, 7(2), 117-140.
- [9] Fanaie, N., & Shirpour, A. (2023, March). Analytical And Numerical Evaluation Of Quarter-Elliptic-Braced Steel Moment Frames (Qeb-Mfs). In *Structures* (Vol. 49, Pp. 426-442).
- [10] Jouneghani, H. G., & Haghollahi, A. (2020). Assessing The Seismic Behavior Of Steel Moment Frames Equipped By Elliptical Brace Through Incremental Dynamic Analysis (Ida). *Earthquake Engineering And Engineering Vibration*, 19, 435-449.
- [11] Jouneghani, H. G., & Haghollahi, A. (2020). Experimental Study On Hysteretic Behavior Of Steel Moment Frame Equipped With Elliptical Brace. *Steel And Composite Structures*, 34(6), 891-907.
- [12] Golshan, M. R., Yousefinezhad, H., Mansoori, B., & Bazaee, A. (2023). Investigating The Finite Elements Of Reinforced Concrete Column Reinforcement Under Cyclic Loading Using NSM Method And FRP Wrap In Different Installation Situations. *Journal Of Structural And Construction Engineering*, (), -. Doi: 10.22065/Jsce.2023.392039.3076
- [13] Shi, F., Ozbulut, O. E., & Zhou, Y. (2020). Influence Of Shape Memory Alloy Brace Design Parameters On Seismic Performance Of Self-Centering Steel Frame Buildings. *Structural Control And Health Monitoring*, 27(1), E2462.
- [14] Hoveidae, N., & Radpour, S. (2021). A Novel All-Steel Buckling Restrained Brace For Seismic Drift Mitigation Of Steel Frames. *Bulletin Of Earthquake Engineering*, 19, 1537-1567.
- [15] Qian, K., Lan, X., Li, Z., & Fu, F. (2021). Effects Of Steel Braces On Robustness Of Steel Frames Against Progressive Collapse. *Journal Of Structural Engineering*, 147(11), 04021180.
- [16] Zhou, Z., Chen, Y., Yam, M. C., Ke, K., & He, X. (2023). Experimental Investigation Of A High Strength Steel Frame With Curved Knee Braces Subjected To Extreme Earthquakes. *Thin-Walled Structures*, 185, 110596.
- [17] Zhang, A., & Ye, Q. (2019). Design And Testing Of Prefabricated Steel Frame With An Innovative Re-Centering Energy Dissipative Brace. *Engineering Structures*, 201, 109791.
- [18] Bazaee, A., Alidadi Tassoji, H., Golshan, M. R., & Aghamajidi, R. (2022). Optimization Of The Reinforcement Method Of Short Concrete Column With Steel Sheet In Different Shape Patterns By Finite Element Method. *Journal Of Concrete Structures And Materials*, 7(2), 159-187. Doi: 10.30478/Jcsm.2023.349519.1279
- [19] Jouneghani, H. G., Fanaie2a, N., & Haghollahi3b, A. (2022). Theoretical Formulation For Calculating Elastic Lateral Stiffness In A Simple Steel Frame Equipped With Elliptic Brace. *Steel And Composite Structures*, 45(3), 445-462.
- [20] Feng, R., Lin, J., Mou, X. (2019). Experiments On Hybrid Tubular K-Joints With Circular Braces And Square Chord In Stainless Steel. *Engineering Structures*, 190, 52-65.
- [21] Ebadi-Jamkhaneh, M., Rezaei, M., & Ahmadi, M. (2021). Seismic Behavior Of Steel Braced Frames Equipped With Metal Foam. *International Journal Of Steel Structures*, 21, 1420-1430.