

رفتار غیرخطی (Pushover) سازه های فولادی تحت تاثیر مهاربندهای BRB و CBF

بهرام عسکری^{۱*}، محمد امامی کورنده^۲

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد صفادشت، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسوول)

^۲ استادیار؛ گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

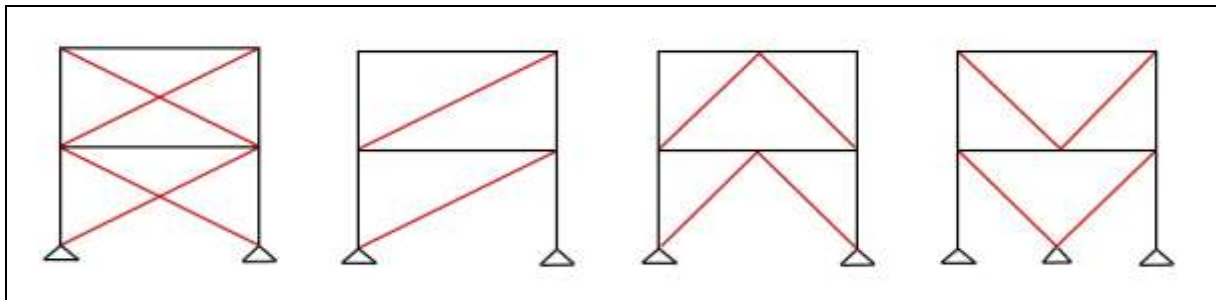
چکیده

تحلیل استاتیکی غیرخطی (Pushover) به عنوان یک تحلیل مناسب در زمینه رفتار غیرخطی سازه های فولادی مطرح است. مهاربند نیز در کنترل رفتار جانبی این سازه ها مهمترین عضو سازه ای است. در این مقاله دو سازه فولادی ۵ و ۱۰ طبقه در نرم افزار Etabs مورد مدلسازی قرار گرفته است. این نرم افزار جهت طراحی اولیه عناصر سازه ای انتخاب شده است و سپس با استفاده از نرم افزار Perform-3D رفتار استاتیکی غیرخطی آنها با دو مهاربند BRB و CBF ارزیابی شده است. نتیجه ای این تحقیق و مطالعات نشان می دهد که سازه های مقاوم شده با بادبندهای کمانش ناپذیر، دارای مستهلک شدن و جذب بالای انرژی نیروهای جانبی و مشاهده رفتاری یکسان در فشار و کشش است. در سازه های ۵ و ۱۰ طبقه با مهاربند هم مرکز (CBF) طراحی شده تغییر مکان هدف بعد از معیار پذیرش LS-Brace قرار می گیرد، اما در سازه های ۵ و ۱۰ طبقه بهسازی شده با مهاربند BRB، معیارهای پذیرش LS و CP بعد از تغییر مکان هدف قرار می گیرد، با توجه به اینکه ساختمان های طراحی شده از لحاظ گروه بندی ساختمان ها طبق استاندارد ۲۸۰۰، در گروه ساختمان های بااهمیت متوسط قرار دارند، بنابراین نتایج بدست آمده قابل قبول می باشند. همچنین نتایج نشان می دهد که مهاربند کمانش ناپذیر نسبت به مهاربند هم مرکز رفتار چرخه ای پایدارتری تحت اثر زلزله از خود نشان می دهد. همچنین سطح زیر منحنی هیستریزیس در مهاربند کمانش ناپذیر از مهاربند هم مرکز بیشتر است.

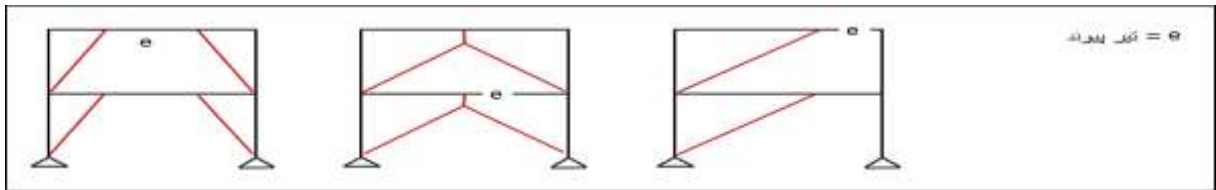
واژه های کلیدی: ساختمان فولادی، مهاربند همگرا، مهاربند کمانش ناپذیر، تحلیل استاتیکی غیرخطی، منحنی هیستریزیس.

۱- مقدمه

در واقع مهاربندها اعضای سازه ای لاغری هستند که نیروهای جانبی وارد بر سازه را به شکل نیروی محوری تحمل می کنند. بر حسب اینکه مهاربندها مثلث بندی کامل (عضو صلب) را در سازه تشکیل دهند یا نه، به دو گروه مهاربند همگرا (هم مرکز CBF^۱) مطابق شکل ۱ و مهاربند واگرا (غیر هم مرکز EBF^۲) مطابق شکل ۲ تقسیم بندی می شوند. در قاب هایی که توسط مهاربندهای هم مرکز مهار می گردند، فقط ستون ها و مهاربندها هستند که در تحمل نیروهای جانبی شرکت دارند و هیچگونه نیرویی از طرف مهاربند نباید به تیر انتقال یابد ولی در جایی که مهاربند غیر هم محور مورد استفاده قرار گرفته است، معمولاً علاوه بر ستون، تیرها نیز در تحمل نیروی جانبی دخیل هستند.



شکل ۱: مهاربندهای همگرا



شکل ۲: مهاربندهای واگرا

در سال ۱۹۹۰ Hassan, Goel توانست نتیجه بگیرد که بادبندهای (CBF) که به صورت درست طبق آیین نامه UBC(1997) بررسی و طراحی شده اند، زمانی که در زلزله این گونه بادبندها موجب تخریب و ناپایداری سازه می شود و تغییر مکان و جابجایی آن تا هشت درصد بیشتر می شود میتوان گفت که باید حداکثر انعطاف پذیری در تیر و ستونها افزایش یابد. Takeushi و همکارانش در سال ۲۰۰۴ نمونه هایی در مورد مهاربندهای کمانش ناپذیر و مخصوصاً کمانشهای موضعی در اتصالات را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. سپس در سال ۲۰۱۰ مطالعات آزمایشگاهی بر روی رفتار لرزه ای مهاربندهای کمانش گریز تماماً فولادی توسط Eryasar و همکارانش صورت گرفت. Margaux Burkholder در سال ۲۰۱۲ در پایان نامه ای که در دانشکده پلی تکنیک دانشگاه کالیفرنیا ارائه شده است به تجزیه و تحلیل مبتنی بر عملکرد یک ساختمان قاب فولادی با مهاربند کمانش تاب پرداخته است. میتوان گفت که در بررسی که در آن زمان انجام شد مشکلاتی که بادبندهای همگرا و در آخر عدم وجود ظرفیتهای فشاری و کششی و کاهش مقاومت و سختی این بادبندها در بارگذاری ساختمانها مطرح شد. بنابراین به این نتیجه رسیدند که تحقیق وسیعی در مورد تقویت و بهینه سازی این بادبندها انجام پذیرد تا بتواند مانند الاستو پلاستیک عمل نماید. Haitham Eletrabi و Justin D. Marshall در سال ۲۰۱۵ در تحقیقی با عنوان اقدامات

^۱ Concentric Braced Frame^۲ Eccentric Braced Frame

هدفمند در ساختمان‌های قاب فولادی با مهاربندهای کمانش تاب به بررسی تأثیر BRB بر نیازهای عملیاتی در سازه های فولادی پرداختند. تجزیه و تحلیل پوش‌اور قاب فولادی سه، پنج و هشت طبقه با و بدون BRB انجام شد. نتایج نشان داد که قاب های با مهاربندی کمانش تاب قابلیت حمل بار بیشتری نسبت به قاب فولاد خالی دارند. طرح های مختلف از جایگذاری BRB و ارتفاع ساختمان برای این مطالعه مورد توجه قرار گرفتند. طرح قرار دادن BRB تأثیر بیشتری بر نیازهای عملیاتی قاب فولادی با توجه به ارتفاع ساختمان های مختلف داشت. انواع مختلف بارگذاری مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد که بارگذاری مدل تاثیر قابل توجهی بر نیروهای توسعه یافته ایجاد شده دارد. در نهایت، نتایج این مطالعه اهمیت ترکیب BRB ها در دستورالعمل های آینده مربوط به مقاومت به فروپاشی پیشرونده سازه های فولادی را برجسته می کند. حسین زاده و محبی در سال ۲۰۱۶ در مقاله ای مدل های المان محدود BRB های فولادی با هندسه های متنوع را تحت تحلیل های چرخه ای مورد بررسی قرار دادند. هندسه مناسب مهاربند که بی ثباتی هسته مقطع را هنگام حداکثر سازی ظرفیت اتلاف انرژی به حداقل رسانده است مشخص شده است. منحنی های دوخطی المان محدود استخراج شده از BRB های انتخاب شده متعاقباً در المان های خرابی مورد استفاده قرار گرفت تا سه قاب ۴، ۸ و ۱۲ طبقه را مقاوم کند. مزایای استفاده از این مهاربندها با مقایسه عملکرد با مهاربند های معمولی برجسته شد. پاسخ های استاتیکی و دینامیکی غیرخطی قاب ها با BRB های فولادی نیز براساس پارامترهایی نظیر حداکثر تقاضای تغییر شکل غیر الاستیکی بررسی شده است. Ricardo Ferreira و همکاران در مقاله ای در سال ۲۰۱۷ یک مطالعه کاربردی در مورد مهاربندهای کمانش تاب در مقاوم سازی یک مدرسه سازه بتن مسلح طراحی شده با آیین نامه های پیشین را ارائه می دهند. اثربخشی راه حل پیشنهادی، که در ابتدا براساس راه حل کسایی و همکاران (۱۹۹۸) طراحی شده است و نشان داد که راه حل مقاوم سازی افزایش قابل توجهی در مقاومت، تغییر شکل و ظرفیت اتلاف انرژی ایجاد می کند و بنابراین آسیب را در سازه اولیه به حد قابل قبول محدود می سازد. مهندس امیر حسین سلمانپور و دکتر فریدون اربابی در مقاله ای در سال ۱۳۹۹ با عنوان مطالعه رفتاری که در قابها بوجود میآید توانست به این نتیجه برسد که در بادبندهای کمانش ناپذیر در یک ساختمان هشت طبقه در سطحهای مختلف عملکردی مورد بررسی و آزمایش قرار دهند که به یک نتیجه ایده آل برسند. که عموماً عملکرد لرزه ای بسیار مطلوبی دارند؛ هرچند نگرانی هایی در باره عملکرد آنها در زمین لرزه های کوچک و متوسط وجود دارد. بخش اول تحقیق به مقدمه و مطالعات صورت گرفته پرداخته می شود و در ادامه ادبیات فنی و تئوری نظری تحقیق قرار گرفته است. در بخش دوم با معرفی روش تحقیق به جمع آوری داده های تحقیق و روش تحقیق ارائه شده در بخش سوم با تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع آوری شده پرداخته می شود و در آخر با جمع بندی و نتیجه گیری به پایان می رسد.

۲- بررسی روش استاتیکی غیرخطی (PUSHOVER)

روش های آنالیز موجود در سازه به دو دسته روش های آنالیز خطی و آنالیز غیرخطی تقسیم بندی می شوند. در آنالیزهای خطی فرض بر این است که تیرها و ستون ها در طول آنالیز دارای مقاومت نامحدود و سختی ثابت می باشند. برخلاف آن در مدل غیرخطی کاهش مقاومت اجزای سازه ای به هنگام خسارت دیدن نیز مدنظر قرار می گیرد. آنالیزهای خطی و غیرخطی برحسب اینکه بارهای وارده استاتیکی و یا استاتیکی باشند به چهار دسته آنالیز استاتیکی خطی و غیرخطی و استاتیکی خطی و غیرخطی تقسیم می گردند.

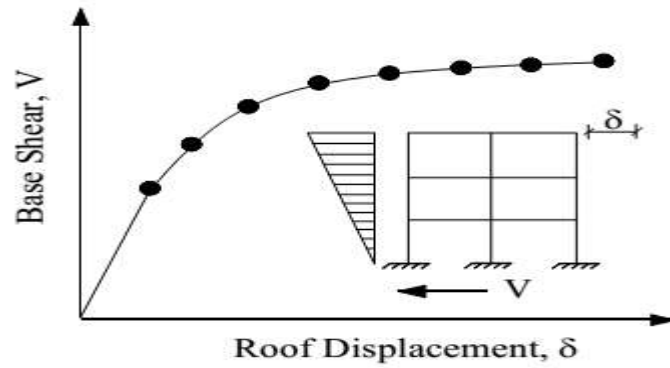
در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های غیرخطی عمومیت بیشتری پیدا نموده است. چون در ارزیابی ساختمان‌های موجود کارایی بیشتری دارند. آئین‌نامه ATC-40 برای استفاده از روش‌های آنالیز غیرخطی استاتیکی برای پیش‌بینی تقاضای لرزه‌ای تأکید می‌کند. [4] همچنین آئین‌نامه FEMA-273 شامل دستورالعمل‌هایی برای آنالیز غیرخطی استاتیکی و استاتیکی می‌باشند. [5] البته در آئین‌نامه‌ها توجه بیشتری به آنالیز غیرخطی استاتیکی در مقایسه با آنالیز غیرخطی استاتیکی شده است. علت این مسئله این است که آنالیز غیرخطی استاتیکی توانایی محاسبه تقریبی پارامترهای سازه‌ای بدون نیاز به مدل‌سازی و محاسبات پیچیده آنالیز غیرخطی استاتیکی را دارد. در آنالیز غیرخطی استاتیکی و یا پوش اور مدل ریاضی غیرخطی سازه تحت یک بار مشخص به صورت جانبی قرار گرفته سپس به تدریج این نیرو افزایش پیدا کرده تا آنجا که تغییر مکان در یک نقطه خاص به نام نقطه کنترل به مقدار مشخصی که تغییر مکان هدف نامیده می‌شود برسد. تغییر مکان هدف حداکثر جابه‌جایی بام ساختمان تحت اثر زلزله منتخب است. در این روند بارهای جانبی مرحله به مرحله افزایش پیدا می‌کند و سختی و مقاومت سازه و اجزاء آن در مرحله افزایش مورد بررسی قرار می‌گیرد. منحنی تغییر مکان بام در مقابل برش پایه که به منحنی ظرفیت سازه معروف است از طریق این آنالیز به دست می‌آید. برای انجام آنالیز پوش اور به دو عامل نیروی جانبی و تغییر مکان هدف نیازمندیم. تحلیل پوش اور بسته به طبیعت فیزیکی بار و رفتار مورد انتظار سازه به دو روش کنترل نیرویی و کنترل تغییر مکانی انجام می‌گیرد. روش کنترل نیرویی زمانی استفاده می‌گردد که مقدار بارها معلوم باشد (مانند بارهای ثقلی) و نیز هنگامی که انتظار می‌رود سازه توانایی تحمل بار در محدوده الاستیک را داشته باشد. روش کنترل تغییر مکان زمانی مورد استفاده قرار داده می‌شود که به دنبال جابه‌جایی نسبی مشخصی بوده و مقدار بزرگی بار وارد بر سازه نامعلوم است و یا در جایی که سازه مقاومت خود را از دست داده و ناپایدار گردیده است.

آنالیز غیرخطی سازه به راحتی با استفاده از برخی از نرم‌افزارهای کامپیوتری مانند Sap2000، Ansys، Drain2dx و Seismostruct انجام می‌گیرد این نرم‌افزارها به سهولت منحنی ظرفیت سازه در مدل‌های دوبعدی و سه‌بعدی را ترسیم می‌نمایند. زمانی که چنین برنامه‌هایی در دسترس نباشد می‌توان از برنامه‌هایی مانند Sap90، Etabs2000 و Risa برای رسیدن به منحنی نیرو به تغییر مکان دست پیدا کرد. در تحلیل پوش اور با استفاده از روش کنترل تغییر مکان مراحل زیر در نظر گرفته می‌شوند:

- ۱- مدلی دوبعدی یا سه‌بعدی از سازه که نشان دهنده رفتار کلی سازه بوده بوجود می‌آید.
- ۲- نمودارهای نیرو به جابه‌جایی دوخطی و یا سه خطی از تمام اعضای مهم سازه که در پاسخ‌های جانبی تأثیرگذار هستند تعریف می‌شوند.
- ۳- بارهای ثقلی متشکل از بارهای مرده و درصد مشخصی از بارهای زنده به مدل اولیه سازه وارد می‌گردد.
- ۴- سپس الگوی بار جانبی که از پیش تعیین شده در طول ارتفاع به سازه وارد می‌شود.
- ۵- بارهای جانبی افزایش پیدا کرده تا هنگامی که برخی از اعضاء تحت اثر ترکیب بارهای ثقلی و بارهای جانبی به تسلیم می‌رسند.
- ۶- برش پایه و تغییر مکان بام در اولین گسیختگی یا تسلیم ثبت می‌شوند (محل تشکیل اولین مفصل پلاستیک)
- ۷- مدل سازه مجدداً اصلاح می‌شود
- ۸- بارهای ثقلی حذف شده و بارهای جانبی افزایش یافته جدیدی به مدل سازه‌ای اصلاح شده وارد می‌گردند تا بسیاری از اعضای دیگر سازه به تسلیم می‌رسند تحت هر بار جانبی افزایش یافته یک تحلیل جداگانه با شرایط اولیه صفر بر روی مدل اصلاح شده

انجام می‌گیرد؛ بنابراین نیروهای اعضاء در انتهای تحلیل بار جانبی افزایش یافته با اضافه کردن این نیروها از تحلیل جاری به مجموع بارهای افزایش یافته قبلی به دست می‌آیند.

۹- مراحل ۷ و ۸ تا زمانی که تغییر مکان بام به سطح معینی از تغییر شکل برسد و یا اینکه سازه ناپایدار شده تکرار می‌شوند.
۱۰- نمودار تغییر مکان یا جابه‌جایی بام در مقابل برش پایه ساختمان ترسیم گردیده تا منحنی ظرفیت کلی سازه یا منحنی پوشش اور به دست آید (شکل ۳)



شکل ۳: منحنی ظرفیت کلی سازه یا منحنی پوشش اور [6]

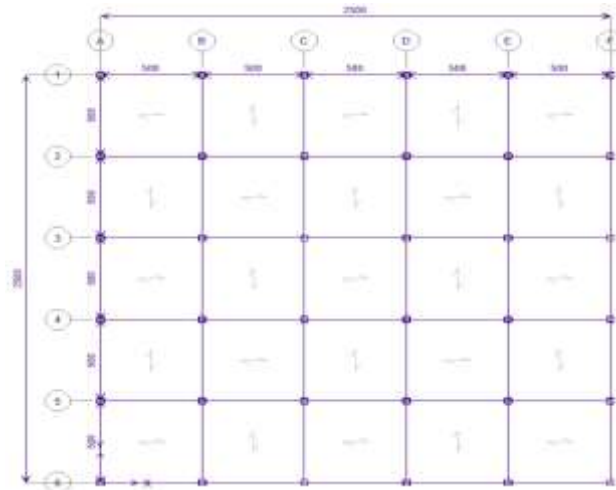
۳- مدلسازی

۳-۱- سازه‌های مورد بررسی

ساختمان‌های مورد بررسی، دو ساختمان ۵ و ۱۰ طبقه با سازه فولادی و کاربری مسکونی می‌باشند. سیستم باربر جانبی ساختمان‌ها در هر دو جهت قاب خمشی معمولی می‌باشد. سایر مشخصات پروژه عبارت است از:

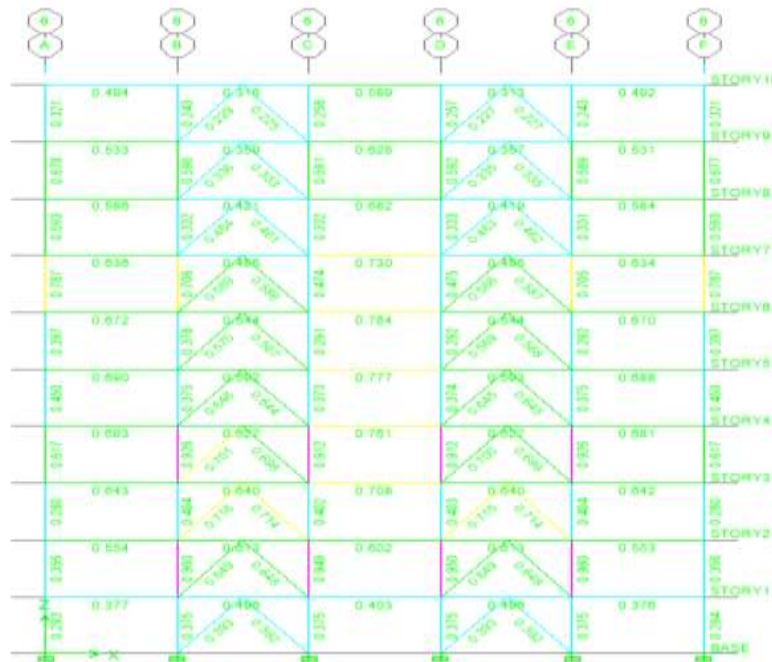
- (۱) ارتفاع تمامی طبقات برابر ۳ متر است.
- (۲) کاربری ساختمان‌ها مسکونی می‌باشد.
- (۳) محل پروژه از نظر لرزه‌خیزی در شهر تهران (منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد) واقع گردیده است.
- (۴) خاک محل پروژه از نوع تیپ ۲ می‌باشد.
- (۵) سقف‌ها از نوع تیرچه بلوک می‌باشند.
- (۶) در هر جهت ۵ دهنه موجود می‌باشد و طول هر دهنه ۵ متر می‌باشد.

به‌منظور مدل‌سازی و طراحی اولیه مدل‌های مفروض از نرم‌افزار ETABS استفاده شده است. در شکل (۴) پلان سازه مدل شده به همراه ابعاد دهانه نشان داده شده است. نوع فولاد مصرفی در ساخت مدل‌ها فولاد St37 می‌باشد. در تمامی مدل‌ها بار مرده طبقات ۶۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و بار زنده طبقات ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع در نظر گرفته شده است.



شکل ۴: سازه مدل شده به همراه ابعاد دهانه‌های قاب و همچنین جهت تیر ریزی

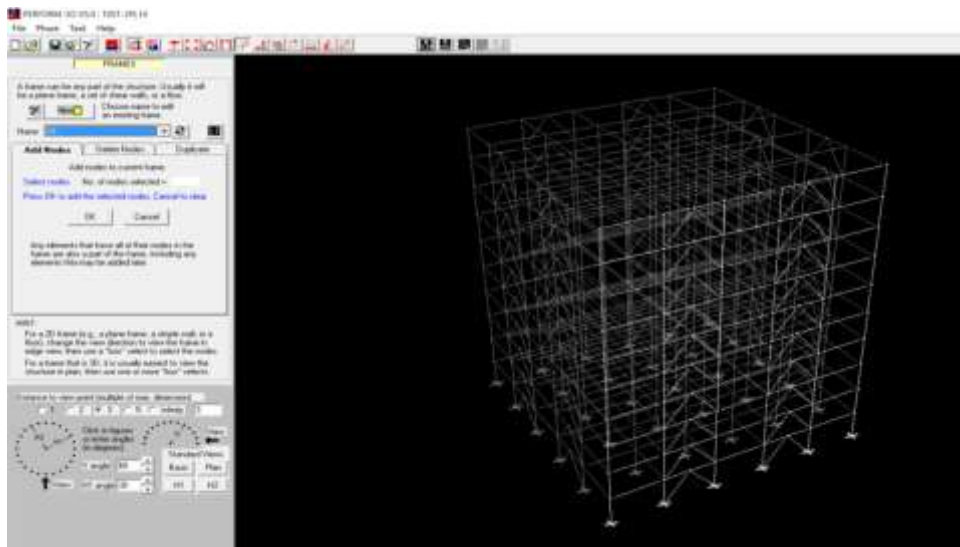
طراحی اولیه مقاطع و سازه‌های مورد بررسی در نرم‌افزار Etabs انجام شده است و پس از آن نتایج تحلیل این نرم‌افزار جهت تحلیل دینامیکی غیرخطی وارد نرم‌افزار Perform-3D شده است. شکل (۵) نمونه‌ای از تصاویر نسبت تنش اعضا پس از مدل‌سازی اولیه در نرم‌افزار Etabs را نشان می‌دهد.



شکل ۵: نسبت تنش‌ها در ستون‌ها و مهاربندها در ساختمان ۱۰ طبقه

برای مدل‌سازی، ارزیابی و بررسی عملکرد مهاربندهای کم‌انرژی ناپذیر، ابتدا احتیاج به طراحی ساختمان‌ها می‌باشد تا مقاطع مناسب را بدست آورد و بتوان با استفاده از ابعاد بدست آمده برای مقاطع، آن‌ها را در برنامه غیرخطی Perform-3D مدل کرد (Rutherford, 2011). یک مدل تحلیلی Perform-3D (PEER Strong, 2016) شامل گره‌هایی می‌باشد که به یکدیگر وصل می‌شوند. در برنامه Perform-3D مدل تحلیلی یک سازه، مدل گره - المان است. یک تصویر از سازه معمول هم گره‌ها و هم المان‌ها را نمایش می‌دهد. برای تعریف یک قاب جدید با اصلاح آن از نوار ابزار مرحله Modeling را انتخاب

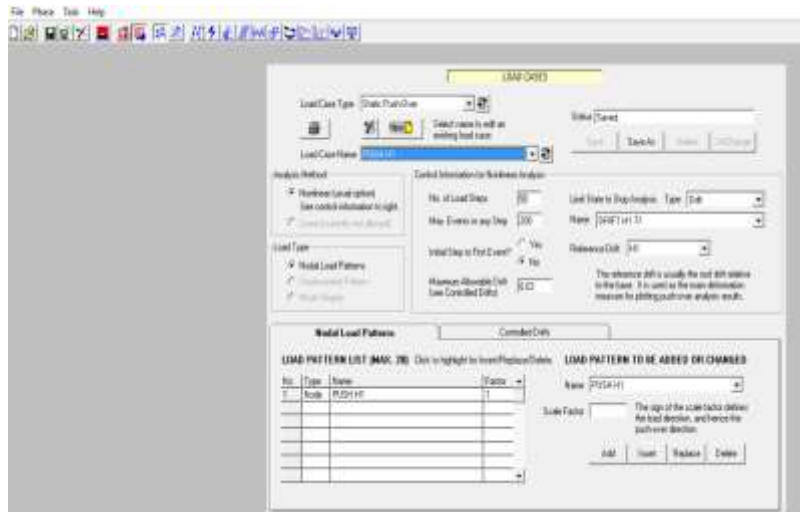
نموده و گزینه‌ی Frame را بایستی فشار داد. اجزای مرکب: یک مؤلفه مرکب از یک تعداد مقطع عرضی و یا مؤلفه‌های مقطع مرکب ساخته می‌شود. برای مثال، یک جز مرکب برای یک تیر می‌تواند شامل یک مؤلفه ناحیه انتهایی ارتجاعی، یک مؤلفه مفصل پلاستیک، یک قطعه ارتجاعی با یک مقطع عرضی یکنواخت، یک مفصل پلاستیک ثانویه و یک ناحیه انتهایی در پایان باشد. برای مشخص نمودن یا تغییر خصوصیات اجزا، از نوار ابزار و در مرحله Modeling گزینه‌ی Components باید استفاده گردد. مؤلفه‌های قابل انتخاب عبارتند از: Inelastic (مؤلفه‌های اصلی غیر ارتجاعی)، Elastic (مؤلفه‌های اصلی ارتجاعی)، Cross Section (مقاطع عرضی)، Strenght Sects (مقاطع مقاومت)، Compound (مؤلفه‌های مرکب) گام‌های کلی برای مؤلفه‌های BRB (مهاربند کماتش ناپذیر) همانند مؤلفه‌های مرکب دیگر می‌باشد و فرم و پنجره‌ی مخصوص به خود را دارا می‌باشد. در یک مؤلفه مرکب BRB از مؤلفه‌های اصلی و میله‌ی الاستیک استفاده می‌شود. برای مدل کردن این نوع مهاربند می‌بایست در قسمت Components گزینه‌ی BRB را انتخاب نمود (شکل ۶).



شکل ۶: مدلسازی سازه ۱۰ طبقه در نرم‌افزار Perform-3D و تعریف قابهای آن

۳-۲- بررسی نتایج بارگذاری استاتیکی پوش آور

برای انجام دادن یک تحلیل استاتیکی پوش آور باید توزیع بارهای افقی را در کل ارتفاع سازه مشخص نمود. وقتی که یک حالت بار پوش آور مشخص می‌شود لازم می‌باشد تا فقط توزیع و راستای بارگذاری در نظر گرفته شود. برای گام‌های بارگذاری در یک مرحله تحلیل پوش آور، سازه موردنظر با یک افزایش Drift مساوی تغییر شکل می‌دهد و در هر مرحله برنامه افزایش بار لازم را محاسبه می‌نماید. این افزایش بار در هر گام به‌طورکلی بعد از تسلیم شدن سازه کوچک‌تر می‌شود. برای شروع یک حالت بارگذاری پوش آور از دکمه‌های نوار ابزار در حالت Analysis گزینه‌ی Load Cases را انتخاب نموده و در فرم حالت‌های بارگذاری گزینه استاتیکی پوش آور به‌عنوان نوع حالت بارگذاری انتخاب می‌گردد (شکل ۷).



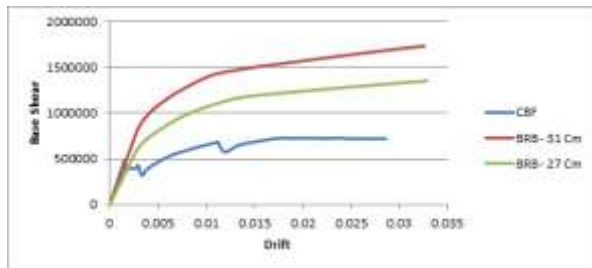
شکل ۷: بارگذاری استاتیکی غیرخطی

۴- تجزیه و تحلیل نتایج مدلسازی

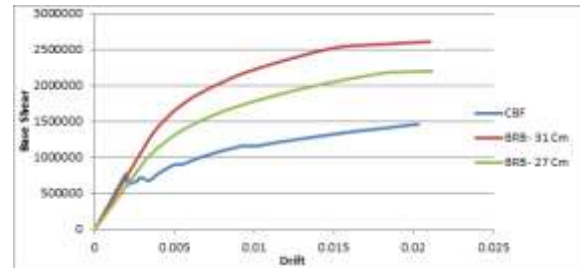
پس از مدلسازی سازه‌های ۵ و ۱۰ طبقه، اقدام به بررسی و تحلیل نتایج حاصله شده است. پارامترهایی از قبیل تغییرمکان حداکثر، برش پایه، درصد انرژی جذب شده، منحنی ظرفیت سازه، عملکرد لرزه‌ای سازه و منحنی هیسترسیز مهاریند مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۴-۱- منحنی ظرفیت سازه‌ها (منحنی PushOver)

منحنی ظرفیت سازه‌ها قبل و بعد از مقاومسازی آن‌ها با مهاریند BRB در حالت‌های مختلف توسط تحلیل استاتیکی غیرخطی در نمودارهای شکل (۸) نشان داده شده است. در نمودارهای زیر محور افقی دریافت برحسب سانتی‌متر و محور عمودی برش پایه برحسب (kgf) می‌باشد.



سازه ۵ طبقه



سازه ۱۰ طبقه

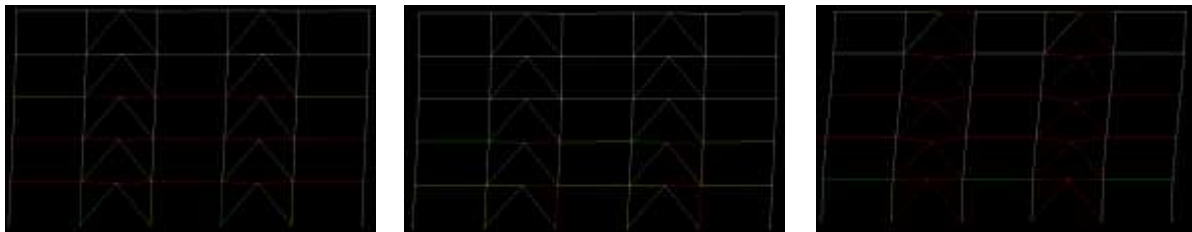
شکل ۸: منحنی ظرفیت سازه‌های مدلسازی شده

همان‌طور که در نمودارهای فوق مشاهده می‌شود برش پایه سازه بعد از مقاومسازی افزایش داشته که این افزایش برش پایه همان‌طور که در بخش ۴-۵-۲ توضیح داده شد به علت رفتار یکسان مهاریندهای BRB در کشش و فشار و افزایش سختی می‌باشد. همچنین همان‌طور که در نمودارها قابل مشاهده است ظرفیت سازه‌ها بعد از مقاومسازی با مهاریند BRB بین ۲ تا ۳ برابر افزایش داشته است، که این افزایش به علت افزایش سختی در BRB ها می‌باشد، و هرچه سطح مقطع فلزی مهاریند BRB افزایش می‌یابد سختی مهاریند بیشتر می‌شود و ظرفیت جذب انرژی نیز بیشتر می‌شود. یعنی هرچه سطح مقطع فلزی مهاریند بیشتر باشد ظرفیت سازه بیشتر افزایش می‌یابد. در سازه‌های ۵ و ۱۰ طبقه با مهاریند هم‌مرکز (CBF) طراحی شده تغییر

مکان هدف بعد از معیار پذیرش LS-Brace قرار می‌گیرد، اما در سازه‌های ۵ و ۱۰ طبقه بهسازی شده با مهاربند BRB، معیارهای پذیرش LS و CP بعد از تغییر مکان هدف قرار می‌گیرد، با توجه به اینکه ساختمان‌های طراحی شده از لحاظ گروه‌بندی ساختمان‌ها طبق استاندارد ۲۸۰۰، در گروه ساختمان‌های بااهمیت متوسط قرار دارند، بنابراین نتایج بدست آمده قابل قبول می‌باشند.

۲-۴- بررسی عملکرد سازه‌ها

در این قسمت عملکرد همه‌ی سازه‌ها با تحلیل غیرخطی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بدین صورت که بررسی می‌شود که چرخش یا تغییر مکان در اعضا کمتر از حد مجاز (معیار پذیرش) می‌باشد یا اینکه عضو به علت تغییر مکان یا چرخش بیش از حد دچار فروریزش می‌شود یا در اصطلاح در عضو تشکیل مفصل پلاستیک رخ داده است. برای ارزیابی این موضوع از ۵ رنگ متفاوت استفاده شده است. اعضای که به علت فراتر رفتن چرخش یا تغییر مکان آن‌ها نسبت به حد آیین‌نامه دچار فروریزش شده‌اند با رنگ قرمز نشان داده می‌شوند و اعضای که حد مجاز آیین‌نامه را رعایت کرده‌اند با چهار رنگ زرد، سبز، آبی و سفید متمایز می‌شوند بدین معنا که اعضای دارای رنگ‌های به ترتیب از زرد به سفید دارای کمترین چرخش و تغییر مکان نسبت به مقدار مجاز آیین‌نامه می‌باشد. برای مقایسه‌ی عملکرد سازه‌های دارای مهاربند هم‌مرکز (CBF) و سازه‌های دارای مهاربند BRB در این قسمت تحلیل غیرخطی در اینجا برای سطح عملکرد IO و LS ت با توجه به تعریف رنگ‌ها در شکل (۹) مشخص شده است. برای هر دو نوع سازه ارزیابی صورت گرفته است.



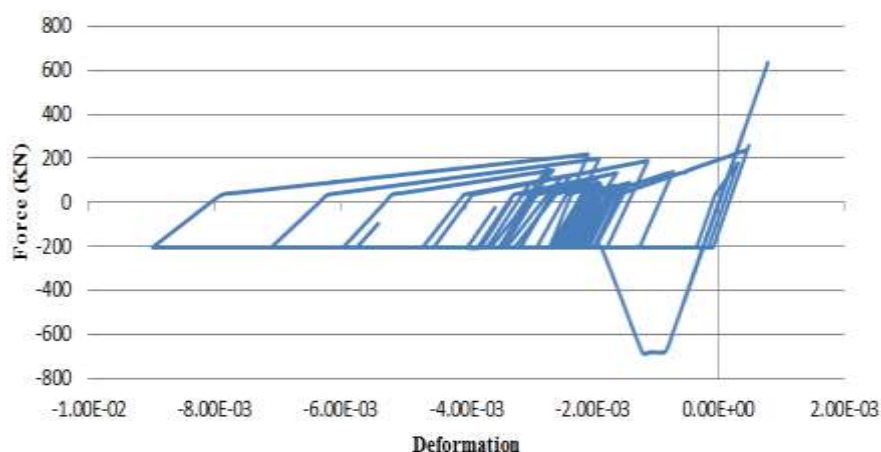
الف: مهاربند هم‌مرکز (CBF) در سطح عملکرد IO
ب: مهاربند $BRB-31Cm^2$ در سطح عملکرد IO
ج: مهاربند $BRB-27Cm^2$ در سطح عملکرد IO

شکل ۹: عملکرد سازه ۵ طبقه با سیستم مهاربندی مختلف تحت سطح عملکرد CP

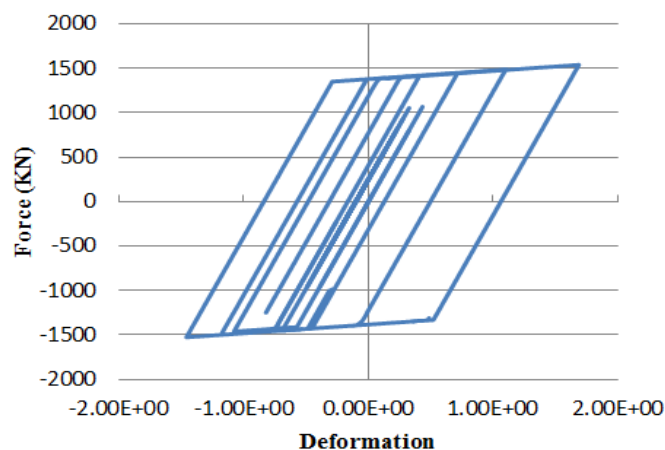
با جایگزین شدن مهاربندهای BRB در سازه‌ها قابل مشاهده است که این مهاربندها انرژی بیشتری نسبت به مهاربند هم‌مرکز جذب کرده‌اند و وجود این مهاربندها (BRBها) باعث می‌شود که سازه‌ها کمتر به سمت تشکیل مفاصل پلاستیک پیشروی کنند، لذا با توجه به اینکه مهاربندهای BRB انرژی بیشتری نسبت به مهاربندهای هم‌مرکز (CBF) مستهلک می‌کنند می‌توان به یک نتیجه کلی دست‌یافت که مهاربندهای کمانش ناپذیر به علت جذب انرژی بالا و عملکرد مناسب، باعث عملکرد خوب ساختمان‌ها در هنگام زلزله خواهند بود.

۳-۴- منحنی هیستریسیس

نمونه‌هایی از نمودار رفتار هیستریسیس مهاربندهای هم‌مرکز (CBF) و مهاربندهای کمانش ناپذیر (BRB) تحت تحلیل غیرخطی در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ ارائه شده است.



شکل ۱۰: منحنی هیستریزیس بادبندهای هم‌مرکز CBF



شکل ۱۱: منحنی‌های هیستریزیس مربوط به مهاربند کمانش ناپذیر BRB

در شکل (۱۰) و (۱۱) همان‌طور که مشاهده می‌شود، مهاربند کمانش ناپذیر نسبت به مهاربند هم‌مرکز رفتار چرخه‌ای پایدارتری تحت اثر زلزله از خود نشان می‌دهد. همچنین سطح زیر منحنی هیستریزیس در مهاربند کمانش ناپذیر از مهاربند هم‌مرکز بیشتر است. این امر بیانگر جذب انرژی بیشتر مهاربندهای کمانش ناپذیر و شکل‌پذیری بیشتر این نوع مهاربندها می‌باشد. به بیان دیگر از منحنی‌های هیستریزیس بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که بادبندهای BRB برخلاف بادبندهای CBF رفتار یکسانی هم در فشار و هم در کشش دارند.

۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با توجه به ضوابط موجود در استاندارد ۲۸۰۰ (آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ۱۳۹۲)، ۶ مدل ساختمان با طبقات ۵ و ۱۰ با استفاده از برنامه Etabs طراحی شد و سپس با استفاده از آیین نامه بهسازی لرزه ای که در خصوص طراحی بر اساس عملکرد می باشد اقدام به تحلیل استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی با استفاده از برنامه Perform-3D (Della Corte, 2011) این مدل‌ها شد که در تحلیل دینامیکی غیر خطی ۳ شتابنگاشت حوزه نزدیک زلزله ChiChi، Northridge و Kobe مورد استفاده قرار گرفتند.

براساس تحلیل‌های انجام شده نتایجی که از این تحقیق می‌توان بدست آورد عبارتند از :

- مهاربند BRB قابلیت جذب انرژی بالا و مستعد استهلاک انرژی زیادی در زمین لرزه ها را در مقایسه با مهاربند های هم مرکز (CBF) دارد.
- به کار بردن مهاربند های BRB در سازه های باعث افزایش برش پایه در این سازه ها نسبت به سازه های با مهاربند هم مرکز (CBF) می گردد که این افزایش برش پایه به علت رفتار یکسان مهاربند های BRB در کشش و فشار و افزایش سختی می باشد.
- مهاربندهای BRB به علت مدفون شدن در بتن و جلوگیری از کمانش آن در هنگام اعمال بارهای زلزله، با توجه به این که بیشتر انرژی زلزله را جذب کرده اند ولی به علت کمانش ناپذیر بودن دچار فرو ریزش نشده اند و همچنین دیگر اعضای سازه نیزمانند تیرها و ستون ها حد مجاز آیین نامه (معیار پذیرش) را رعایت کرده اند و آن ها نیز دچار فرو ریزش نشده اند، سازه تاب باربری خود را حفظ کرده و سازه های مجهز به BRB درمقایسه با سازه های با مهاربند هم مرکز (CBF) در سطح عملکرد IO باقی مانده است و از لحاظ سطح عملکرد، عملکرد بهتری دارند.
- با کاهش ۱۵ درصدی سطح مقطع هسته فلزی مهاربند BRB، تغییرمکان نسبی (دریفت) سازه ۱۵ درصد افزایش یافته است و همچنین با جایگزین کردن مهاربند BRB با سطح مقطع 31Cm^2 به جای مهاربند CBF در سازه های ۵ و ۱۰ طبقه به ترتیب ۲۵٪ و ۱۵٪ کنترل دریفت داریم.
- با کاهش ۱۵ درصدی سطح مقطع هسته فلزی مهاربند BRB، تعداد مفاصل پلاستیک تشکیل شده ۱۵ درصد افزایش یافته است و همچنین با جایگزین کردن مهاربند BRB با سطح مقطع 31Cm^2 به جای مهاربند CBF در سازه های ۵ و ۱۰ طبقه تعداد مفاصل پلاستیک تشکیل شده به ترتیب ۳۰٪ و ۲۰٪ کاهش یافته است.

مراجع

- [۱] آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ۱۳۹۲.
- [۲] دستور العمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود، معاونت امور فنی دفتر امور فنی، نشریه شماره ۳۶۰، ۱۳۹۲.
- [۳] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، مقررات ملی ساختمان- مبحث دهم- طرح و اجرای ساختمان های فولادی، ۱۳۹۲.
- [۴] صفرزاده حقیقی، علی، ۱۳۸۸، بررسی مقایسه ای عملکردی قاب های خمشی با مهاربند برون محور و قاب های خمشی در حوزه نزدیک گسل، رساله کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر عباس اکبرپور، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد.
- [۵] هنرمند، کامران و امامی کورنده، محمد و جلالی نژاد، مهدی، ۱۳۹۸، تعیین ضریب رفتار سازه های ساختمان های فولادی با مهاربند همگرا با تکیه بر اثر اندرکنش خاک و سازه، <https://civilica.com/doc/1242138>.
- [۶] حسین ترکمان، محمد امامی کورنده، مهدی جلالی نژاد، (۱۳۹۸). بررسی ضریب رفتار ساختمان های فولادی با در نظر گرفتن جانمایی باد بندهای مختلف تحت اثر اندرکنش خاک و سازه، مجله رویکردهای نوین در تحقیقات علوم پایه، فنی و مهندسی، ۲(۶)، ۱-۱۹. magiran.com/p2056716.
- [۷] محمدی، رضا و امامی کورنده، محمد و شفیعی سرتشتیزی، مسعود، ۱۳۹۴، بررسی سیستم های مهاربندی بر بهینه شدن طراحی سازه های فلزی، دومین کنفرانس بین المللی عمران، معماری و توسعه اقتصاد شهری، شیراز، <https://civilica.com/doc/457223>
- [8] AISC, Seismic Provisions for Structural steel Building, American Institute of Steel Construction Inc. , Chicago, 1999.
- [9] AISC; Load and Resistance Factor Design Specification, American Institute of Steel Construction Inc. , Chicago, 1999.
- [10] American institute of steel construction (AISC); Seismic provisions for structural steel building, Chicago, 1997.
- [11] Applied Technology Council (ATC). (1996) "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building. Rep. ATC-40".
- [12] Emami Korandeh, M. , & Nourbakhsh, S. (2021). Optimizing the Weight of Steel Structures using Artificial Neural Network Method. JOURNAL OF NEW APPROACHES IN CIVIL ENGINEERING, 4(4) , 63-77.
- [13] Emami, M. and Yasrobi, S. S. , 2014. Modeling and interpretation of pressuremeter test results with artificial neural networks. Geotechnical and Geological Engineering, 32(2), pp. 375-389.
- [14] FEMA ,1997 ,“NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings”, FEMA 273, and “NEHRP Commentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buildings”, FEMA 274, Federal Emergency Management Agency, Washington, D. C.
- [15] FEMA356 , Prestandard and Commentary for the seismic rehabilitation of buildings , November, 1997
- [16] G. Della Corte, M. D’aniello, R. Landolfo, FM. Mazzoniani, "Review of steel buckling-restrained braces", steel construction, 4(2): 85-93, 2011.
- [17] M. mahmoudi and M. zaree; "evaluating response modification factors of concentrically braced steel frames", journal of constructional steel research, vol. 66, pp. 1196-1204, 2017.

- [18] PEER Strong Motion Database. Available: <http://ngawest2.berkeley.edu/>, 2016.
- [19] PERFORM-3D V5. 0. 0; Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures, Computers and Structures (SCI) Berkeley, California, 2011.
- [20] Rutherford and Chekene; Perform Nonlinear Component Modeling Of Star Seismic Powercat™ BRBs, Report to Star Seismic LLC, 2011.

Pushover Behavior of Steel Structures Under the Effect of BRB and CBF Braces

Bahram Askari ^{*1}, Mohammad Emami Kourandeh ^{*2}

1- M. Sc. Graduate, Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Safadasht Branch of Azad University, Tehran, Iran

2- Assistant Professor; Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Abstract

Nonlinear static analysis (pushover) is considered as a suitable analysis in the field of nonlinear behavior of steel structures. The brace is also the most important member of the structure in controlling the lateral behavior of these structures. In this paper, two steel structures of 5 and 10 story have been modeled in Etabs software. This software was selected for the initial design of structural elements and then their nonlinear static behavior was evaluated using BRB and CBF braces using Perform-3D software. The result of this research and studies show that resistant structures with buckling braces have high energy consumption and absorption of lateral forces and observe the same behavior in pressure and tension. In 5 and 10-story structures with CCF designed, the displacement of the target is after the LS-Brace acceptance criterion, but in the 5 and 10-story structures improved with the BRB brace, the acceptance criteria of LS and CP are after the displacement of the target. Given that the buildings designed in terms of grouping of buildings according to the standard 2800, are in the group of medium-sized buildings, so the results are acceptable. The results also show that non-buckling braces show more stable cyclic behavior under earthquake impact than concentric bracing. Also, the area under the hysteresis curve in the buckling brace is higher than the concentric brace.

Keywords: Steel Structure, BRB Brace, CBF Brace, Nonlinear Static Analysis, Hysteria Curve.
