

Evaluating the effects of using BRB Brace in steel buildings in order to achieve IO level

Farzam Moghadam-Rad¹, Panam Zarfam^{2,*} Masoud Zabihi-Samani³

1- Ph. D student, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Parand Branch, Islamic Azad University, Parand, Iran

ABSTRACT

The main direction of this research is the effect of using buckling buckle in steel buildings in order to achieve the IO level. The validation has been done by using Abaqus software. After validating the 3D simulation of the BRB braces, its parametric study is performed and the sensitivity of the buckling buckle brace is performed. The modeling phase in 2D bracing space and seismic analysis (history-time) of braced frames was performed under different acceleration mapping records. The parameters of this research are the opening member-radius dimensions, geometric shape of the member, type of brace, The effects of the number of floors and the length of the opening in the frame with BRB brace. The results are presented based on pushover diagrams and time-history and relative drift of stories. The results showed that the parameter that has the most impact on the hardness and ductility index is the cross-sectional area and the parameter that has the most impact on the strength index is the cross-sectional geometry. By changing the cross-sectional geometry from the circle to the square of the BRBF brace, relative percentage reduction in stiffness, strength and ductility were obtained 2%, 16% and 10%, respectively. By changing the type of brace from CBF to BRBF, the relative percentage of increase in stiffness was between 30 to 62%, the relative percentage of increase in strength was between 63 to 69% and the relative percentage of increase in ductility was between 12 to 30%. The amount of drift roof in the analysis of time history under different earthquakes, in BRB 4, 8 and 12 floors in the range of 1.19 to 1.51 times has been achieved. Hardness and ultimate strength and ductility indices decreased with increasing opening, decreased with increasing cross section and decreased with increasing height.

ARTICLE INFO

Receive Date: 11 April 2021

Revise Date: 07 October 2021

Accept Date: 09 November 2021

Keywords: BRB

Concentric brace

Time-History analysis

Finite elements

Performance level

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2021.280384.2410

*Corresponding author: Panam Zarfam
Email address: zarfam@srbiau.ac.ir

ارزیابی تاثیر استفاده از بادبند کمانش تاب در ساختمان‌های فولادی به منظور دسترسی

به سطح عملکرد خدمات رسانی بی وقفه

فرزام مقدم راد^۱، پنام زرفام^{۲*}، مسعود ذبیحی سامانی^۳

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، واحد پرند، دانشگاه آزاد اسلامی، پرند، ایران

چکیده

تاثیر استفاده از بادبند کمانش تاب در ساختمان‌های فولادی به منظور دسترسی به سطح عملکرد خدمات رسانی بی وقفه بررسی شده است. ابتدا صحت‌سنجی با استفاده از نرم افزار اجزای محدود آباکوس صورت گرفته است. در گام بعدی، به مطالعه پارامتریک آن پرداخته و حساسیت‌سنجی بادبند کمانش تاب انجام شده است. سپس مدلسازی در فضای دوبعدی بادبند و آنالیز لرزه‌ای (تاریخچه-زمانی) قاب‌های دارای بادبند تحت رکوردهای مختلف شتاب نگاشت انجام شده است. خروجی‌های گرفته شده بر اساس نتایج بود که در قابهای بادبندی دارای اهمیت بود و این نتایج و خروجی‌ها و انتخاب پارامترها نیز بر اساس مطالعات پژوهش‌های گذشته زمینه قابهای دارای بادبند انتخاب شده است. پارامترهای این پژوهش دهانه، ابعاد عضو-شعاع، شکل هندسی عضو، نوع بادبند، اثرات تعداد طبقات و طول دهانه در قاب دارای بادبند *BRB* انتخاب شده است. نتایج بر اساس نمودارهای پوش آور و تاریخچه-زمانی و دریافت نسبی طبقات استخراج شده از مدل‌های عددی ارائه شده است. نتایج نشان داد که پارامتری که بیشترین تاثیر در شاخص سختی و شکل پذیری را دارد پارامتر سطح مقطع و پارامتری که بیشترین تاثیر در شاخص مقاومت را دارد پارامتر هندسه مقطع می‌باشد. با تغییر هندسه مقطع از دایره به مربع بادبند *BRBF*، درصد نسبی کاهش سختی ۲ درصد، درصد نسبی کاهش مقاومت ۱۶ درصد و درصد نسبی کاهش شکل پذیری ۱۰ درصد حاصل گردید. با تغییر نوع بادبند از *CBF* به *BRBF*، درصد نسبی افزایش سختی ما بین ۳۰ تا ۶۲ درصد، درصد نسبی افزایش مقاومت بین ۶۳ تا ۶۹ درصد و درصد نسبی افزایش شکل پذیری بین ۱۲ تا ۳۰ درصد حاصل گردید. میزان دریافت بام تحت زلزله‌های مختلف، در قاب *BRB 4* و ۸ و ۱۲ طبقه در محدوده ۱/۱۹ تا ۱/۵۱ برابر حاصل شده است. شاخص‌های سختی و مقاومت نهایی و شکل پذیری با افزایش دهانه کاهش، با افزایش سطح مقطع افزایش و با افزایش ارتفاع کاهش یافته است.

کلمات کلیدی: بادبند کمانش تاب، بادبند همگرا، تحلیل تاریخچه-زمانی، اجزای محدود، سطح عملکرد

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
doi:	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
https://doi.org/10.22065/JSCE.2021.280384.241010	۱۴۰۱/۴/۰۱	۱۴۰۰/۸/۱۸	۱۴۰۰/۸/۱۸	۱۴۰۰/۷/۱۵	۱۴۰۰/۱۰/۲۲
10.22065/JSCE.2021.280384.2410					
پنام زرفام				*نویسنده مسئول:	
zarfam@srbiau.ac.ir				پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

قاب‌های دارای مهاربند کم‌انرژی‌ناپذیر (BRB)^۱ نوعی سیستم مقاوم در برابر نیروهای لرزه‌ای است که به طور چشمگیری برای اولین بار در سال ۱۹۹۹ در ایالات متحده مورد استفاده قرار گرفت [۱]. سیستم مقاوم در برابر نیروی جانبی BRBF، اثرات $P-\Delta$ را نیز تجربه می‌کند. به دلیل تاثیر بارهای فشاری و دریافت بر روی عضوهای مایل، این سیستم باید بتواند در هنگام بارگذاری لرزه‌ای تعادل خود را حفظ کند. مقاومت و پایداری در برابر بار لرزه‌ای موضوع تلاش‌های تحقیقاتی بی شماری از محققین بوده است. همچنین با توجه به آزمایش‌ها و شبیه‌سازی‌های عددی درباره موضوعات معمولی مربوط به پاسخ سازه‌های چند طبقه تحت تأثیر $\Delta-p$ نظریه‌ای ارائه گردیده است. علیرغم این مطالعات، به دلیل پیچیدگی و عدم اطمینان از ویژگی‌های زلزله و پاسخ سازه‌ای دینامیکی شکل‌ناپذیر، به ویژه در زمینه رویکردهای طراحی مبتنی بر کد مشترک و اطمینان از پایداری لرزه‌ای در ساختمان ساده نیست. سازه‌های چند طبقه، تمایل دارند که توزیع غیر یکنواختی از تغییر دریافت طبقات در ارتفاع را ارائه دهند و این بی‌نظمی وقتی دامنه حرکت زمین افزایش می‌یابد، بارزتر می‌شود [۲-۶]. تحقیقات گذشته نشان داده است که ارتفاع ساختمان نیز تأثیر قابل توجهی بر ضریب تغییر مکان جانبی دارد [۷-۹]. هرچه ارتفاع ساختمان بیشتر، اثرات $P-\Delta$ بحرانی‌تر می‌شود و خطر فرو ریختگی و خرابی نیز افزایش می‌یابد [۱۰]. انتخاب ابعاد مقطع مهاربند نسبتاً خوب BRB دارای هسته فولادی با سختی و تنش تسلیم کم می‌تواند احتمال شکل‌گیری مکانیسم‌های بیشتری از دریافت ایجاد شده در یک طبقه را افزایش دهد. این روند با مطالعه‌ای مقایسه‌شده که در آن قاب‌های دارای مهاربند همگرا (CBFs)^۲ با BRBF ها مقایسه شده است [۱۱]. اگرچه در اینجا تمرکز بر BRBF است، اما نگرانی در مورد برخورد دقیق با پاسخ لرزه‌ای غیر ارتجاعی و پایداری لرزه‌ای تا حد زیادی مستقل از سیستم است و باید در آینده در ASCE 7 مورد بازنگری گسترده قرار گیرد. کاهش تمرکز دریافت در یک طبقه برای پایداری کلی مفید است زیرا همانطور که قبلاً بحث شد، مکانیزم تمرکز دریافت در یک طبقه، می‌تواند منجر به خرابی و فرو پاشی سازه شود [۱۲]. مطالعات تحلیلی و تجربی قبلی نشان دادند که دریافت باقیمانده در BRBF پس از DBE^۳ می‌تواند از حد ۰/۵٪ فراتر رود. بنابراین، راه حل‌های این مشکل باید بررسی شود [۱۳-۱۴]. مطالعات روی استفاده از BRB مختلط با ترکیبی از فولادهای کم مقاومت و فولادهای پر مقاومت در هسته آن نشان داده است که این نوع قاب‌های مهاربندی شده به دلیل سختی بالاتر و همچنین کارایی بیشتر، از عملکرد بالاتری نسبت به قاب‌های معمولی برخوردارند [۱۵-۱۶]. مطالعات گذشته همچنین نشان داده است که استفاده از طرح BRBF SMRF باعث کاهش تمرکز دریافت و همچنین به طور قابل توجه تری، دریافت باقیمانده می‌شود [۱۷-۱۸]. توزیع مجدد نیرو بین دو سیستم با استفاده از مزایای هر کدام عملکرد کلی ساختار قاب SMRF-BRB را بهبود می‌بخشد. دریافت در طبقات پایین‌تر توسط BRBF کنترل می‌شود در حالی که دریافت در طبقات بالایی توسط SMRF کنترل می‌شود [۱۹]. گزینه‌های دیگر برای کاهش تمرکز دریافت در یک طبقه در حالت کلی‌تر برای قاب‌های همگرا (CBF) نیز مورد مطالعه قرار گرفته است، و قاب‌های همگرا (CBF) به دلیل شباهتشان با سیستم BRBF مناسب می‌باشند. استفاده از ستونهای سرتاسری در ارتفاع سازه، خواه بخشی از سیستم لرزه‌ای یا سیستم دریفتی باشد، تمرکز دریافت طبقه را کاهش می‌دهد و از مکانیسم‌های طبقه به دلیل افزایش سختی و مقاومت جانبی جلوگیری می‌کند [۲۰-۲۱]. تان و همکاران در سال ۲۰۲۱ پژوهشی در زمینه عملکرد آزمایشگاهی یک قاب RC فضایی با مقیاس کامل با مهاربندهای کم‌انرژی‌ناپذیر (BRB) در معرض بارگذاری دو طرفه انجام دادند. نتایج تغییر شکل بسیار خوبی از RCF-BRB را نشان داد، زیرا نسبت دریافت در هر دو جهت بارگیری به ۵/۹ درصد می‌رسد. در مقایسه با صفحات گاست معمولی، صفحات گاست بدون محدودیت آسیب اعضای RC را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد [۲۵]. سونگ و همکاران در سال ۲۰۲۰، یک مهاربند کابل خودمحور (SCCB) جدید با دستگاه‌های اصطکاک برای بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌های قاب موجود ارائه دادند. نتایج نشان داد در مقایسه با قاب تقویت شده با BRB، قاب بهبود یافته SCCB به طور قابل توجهی توانایی لرزه‌ای را افزایش می‌دهد [۲۶]. گررو و همکاران در سال ۲۰۲۰، آزمایش‌های شبیه‌سازی ترکیبی ساختمان قاب طبقه نرم با یک مهاربند مهارکننده کم‌انرژی (BRB) به روز شده را مورد بررسی قرار دادند. این آزمایش‌ها با استفاده از یک بادبند معمولی به جای BRB تکرار شد. نتایج نشان می‌دهد که معرفی BRB در طبقه نرم یک اقدام موثر برای

^۱Buckling-restrained braced frame^۲ concentrically braced frames^۳ Design Base Earthquake

بهبود عملکرد ساختار تحت بارگذاری لرزه ای بود. در حالی که معایب بادبند معمولی بسیار زیاد است [۲۷]. پنج‌بار و همکاران در سال ۲۰۲۰، به بررسی عددی اثر سخت کننده ها بر روی صفحات گاست با استفاده از قاب مهار شده در برابر کمانش پرداختند. مطالعه پارامتریک بر روی صفحه گاست با ماده سخت کننده لبه آزاد دیگر انجام شده است. مقایسه پاسخ هیستریزیس، منحنی های هیستریزیس در اتصال تیر ستون صفحات مختلف گاست بررسی شده است. صفحه گاست با سخت کننده لبه آزاد برای طراحی قاب BRB توصیه شده است [۲۸]. ژو و همکاران در سال ۲۰۲۰، مطالعه تجربی سیستم قاب فولادی پیش ساخته با مهاربندهای مهار شده با کمانش انجام دادند. مقایسه بین پیش بینی های عددی و نتایج تجربی نشان می دهد که مدل OpenSees مطابقت منطقی با رفتار مشاهده شده از نمونه های آزمایش شده فراهم می کند [۲۹]. با توجه به بررسی انجام شده بر روی مراجع تحقیق سازه‌های دارای مهاربند BRB و حالات و عوامل مختلف آن، نیاز به تحقیقات بیشتر در حوزه مهاربند BRB در سازه‌های چندطبقه است. پژوهش انجام شده در گذشته بیشتر متمرکز بر روی حالات خاص سازه های قاب فولادی و بتنی انجام گرفته و در ادامه اثر پارامترهای مختلف BRB در قاب‌های فولادی چندطبقه و چند دهانه مورد ارزیابی قرار نگرفته است. همانطور که مستحضرید در طراحی ساختمان ها با استفاده از مهاربند کمانش تاب ضرایب بتا و امگا بسیار موثر هستند و برای هر بادبند کمانش تاب بر اساس شکل هندسی اتصالات دو سر و... متفاوت است. این تحقیق، بر اساس مشخصات فنی میراگرهای کمانش تاب شرکتی که در ایران ساخته می شود و توسط مرکز تحقیقات برای آن تاییدیه فنی صادر شده است، می باشد. تا بتوان رفتار اینگونه بادبندها را در ساختمان بررسی کرد. فقدان ارزیابی رفتار لرزه‌ای در سازه‌های دارای مهاربند BRB تولید ایران و میزان تاثیر عوامل مختلف در رفتار لرزه‌ای در مطالعات گذشته محسوس بوده است که در این پژوهش به تاثیر استفاده از بادبند کمانش تاب در ساختمانهای فولادی به منظور دسترسی به سطح عملکرد خدمات رسانی بی وقفه پرداخته شده است.

۲. ایجاد مدل هندسی بادبند کمانش تاب

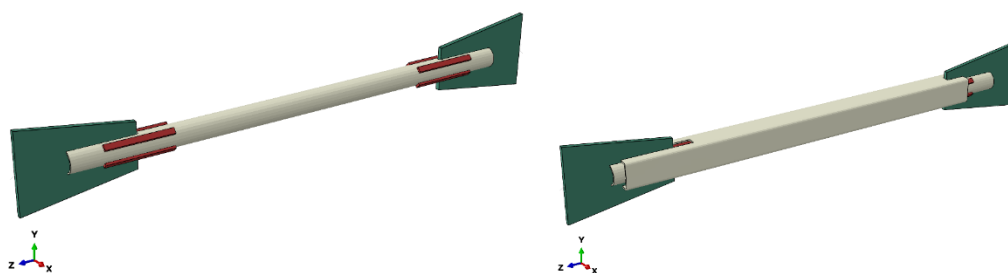
در این پژوهش برای بررسی مدل هندسی بادبند کمانش تاب از نرم افزار اجزای محدود آباکوس استفاده شده است. دلیل استفاده از نرم‌افزار آباکوس توانایی این نرم افزار در مدل‌سازی رفتار لرزه‌ای بادبندها است که در پژوهش‌های پیشین نیز از این نرم‌افزار استفاده شده است. اعضای تشکیل دهند بادبند کمانش تاب که از دو جداره فولادی هم مرکز (tube-in-tube buckling controlled brace) تشکیل شده است شامل، گاست پلیت، ورق سخت کننده، جداره خارجی و جداره داخلی می باشد. برای مدل‌سازی هر یک از اعضای بادبند کمانش تاب در ماژول Part از المان های به شکل Solid استفاده شده است. در مصالح فولادی بادبند تحمل کننده بار و لوله جداره بیرونی در همه نمونه ها از جنس فولاد ASTM A500 Gr.B با تنش اسمی به ترتیب ۴۲ ksi و ۴۶ ksi استفاده شده است. صفحات گاست پلیت، صفحات تقویت کننده و سخت کننده ها برای تقویت صفحات گاست از صفحات فولادی ASTM A36 می‌باشند.

جدول ۱. مشخصات مصالح فولادی

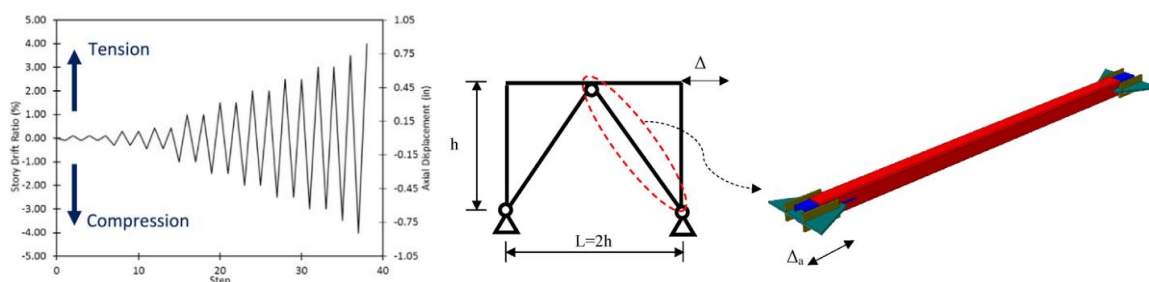
نمونه ها	نوع فولاد	E_s (Gpa)	F_y , means (Mpa)	F_u , means (Mpa)	ν
گاست پلیت	ASTM A36	۲۱۰	۳۸۶	۴۴۵	۰٫۳
ورق سخت کننده	ASTM A36	۲۱۰	۳۸۶	۴۴۵	۰٫۳
مقطع عرضی جداره خارجی	ASTM A500 Gr.B	۲۱۰	۳۷۹	۵۷۲	۰٫۳
مقطع عرضی جداره داخلی	ASTM A500 Gr.B	۲۱۰	۳۷۹	۵۷۲	۰٫۳

در جدول ۱ مشخصات مصالح فولادی ارائه شده است که در آن پارامتر E_s بیانگر مدول الاستیسیته بر حسب مگاپاسکال، پارامتر F_y بیانگر تنش تسلیم بر حسب مگاپاسکال، پارامتر F_u بیانگر تنش نهایی بر حسب مگاپاسکال و پارامتر ν بیانگر ضریب پواسون است. برای تنظیم هندسه نهایی بادبند کمانش تاب در این مطالعه، ابتدا مقطع فولادی جداره داخلی، خارجی، گاست پلیت و سخت کننده ها هر کدام بصورت جداگانه ساخته و سپس با توجه به اندازه ها هر یک از اعضا با استفاده از ابزار موجود در جای مناسب خود قرار می گیرند که در شکل (۱) هندسه نهایی نشان داده شده است. در بادبند کمانش تاب مورد بررسی از دو گام برای آنالیز استفاده شده است. در

گام اول نقص اولیه به بادیند کمانش تاب اعمال گردید. این نقص در اثر جابجایی‌ها و تغییر شکل‌های کوچکی که در زمان اجرا و نصب در ورق ایجاد می‌گردد، بوجود می‌آید. در گام بعدی بارگذاری رفت و برگشتی اعمال شده است و تاریخچه بارگذاری طبق الگوی استاندارد پیشنهاد شده توسط آیین‌نامه AISC انتخاب شده است. این تاریخچه که بصورت چرخه‌ای دوطرفه افزایش یابنده می‌باشد، به شیوه کنترل تغییرمکان و بر مبنای زاویه تغییرمکان نسبی به مدل‌ها اعمال گردید. در مدل صحت سنجی تاریخچه بارگذاری پیشنهادی AISC با اعمال شش سیکل متوالی برای 0.0375% ، 0.05% و 0.075% زاویه تغییرمکان نسبی طبقه شروع می‌شود و سپس چهار سیکل با بیشینه زاویه تغییر مکان نسبی طبقه 1% و با اعمال دو سیکل بارگذاری برای هر افزایش زاویه تغییرمکان نسبی طبقه به اندازه 1% ادامه می‌یابد، که در شکل (۲) آورده شده است. همچنین در شکل (۲) بارگذاری مدل‌ها و شرایط مرزی مدل‌ها در محیط نرم‌افزار نشان داده شده است.



شکل ۱. بادیند کمانش تاب در ماژول اسمبلی



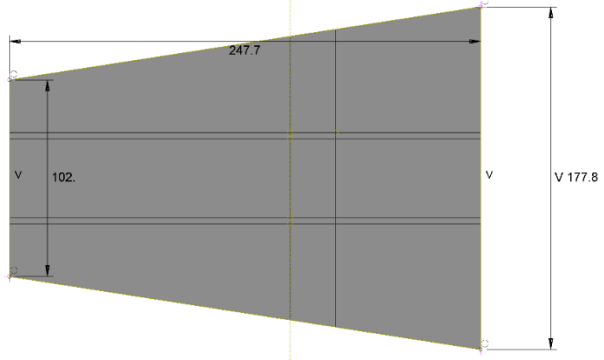
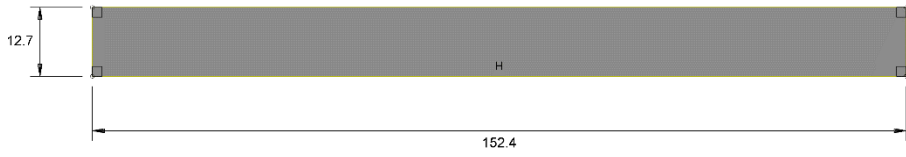
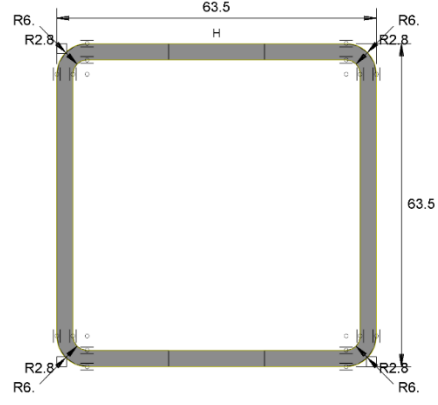
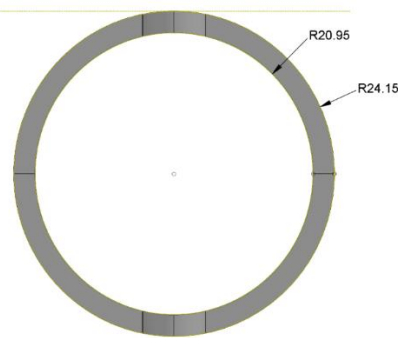
شکل ۲. شرایط مرزی و بارگذاری نمونه‌های مدل شده

اعضای تشکیل دهنده بادیند کمانش تاب که از دو جداره فولادی هم مرکز (tube-in-tube buckling controlled brace) تشکیل شده است شامل، گاست پلیت، ورق سخت کننده، جداره خارجی و جداره داخلی می‌باشد. ابعاد گاست پلیت که بصورت دوزنقه‌ای است دارای دو قاعده به طول 102 و $177/8$ میلی‌متر و طول $247/7$ میلی‌متر و ضخامت $9/5$ میلی‌متر، ورق سخت کننده به ضخامت $12/7$ میلی‌متر و به طول $152/4$ میلی‌متر است. مقطع عرضی جداره خارجی $63/5$ در $63/5$ میلی‌متر و ضخامت $3/2$ میلی‌متر و طول 950 میلی‌متر و برای مقطع عرضی جداره داخلی لوله به قطر $48/3$ میلی‌متر و ضخامت $3/2$ میلی‌متر و طول 1070 میلی‌متر است.

برای مدلسازی هر یک از اعضای بادیند کمانش تاب در ماژول Part از المان‌های به شکل Solid استفاده شده است. برای دقت در مدلسازی از نقص اولیه در بادیند استفاده شده است که میزان این نقص $L/300$ در نظر گرفته شده است و در یک گام جداگانه تحلیل کمانش انجام شده است و با دستور Imperfection در راستای مود اول کمانش نقصی به مقدار $4/22$ میلی‌متر که معادل $L/300$ است، به مدل اعمال شده است. در اتصالات بین گاست پلیت و مقطع فولادی داخلی و سخت کننده با جداره فولادی داخلی از قید Tie برای جوش استفاده شده است. برای سطوحی که دارای برخورد هستند از اندرکنش و تماس صفحه به صفحه^۴ در راستای عمودی و مماسی استفاده شده است که این فرآیند برخورد بین جداره فولادی داخلی و خارجی بادیند کمانش تاب رخ می‌دهد. تماس صفحه به صفحه میان دو سطح تغییرشکل‌پذیر بتن و فولاد با ضریب اصطکاک $0/3$ و قید Tie برای ترکیب دو ناحیه با مش‌های متفاوت و یکسان سازی درجات

⁴ Surface to Surface

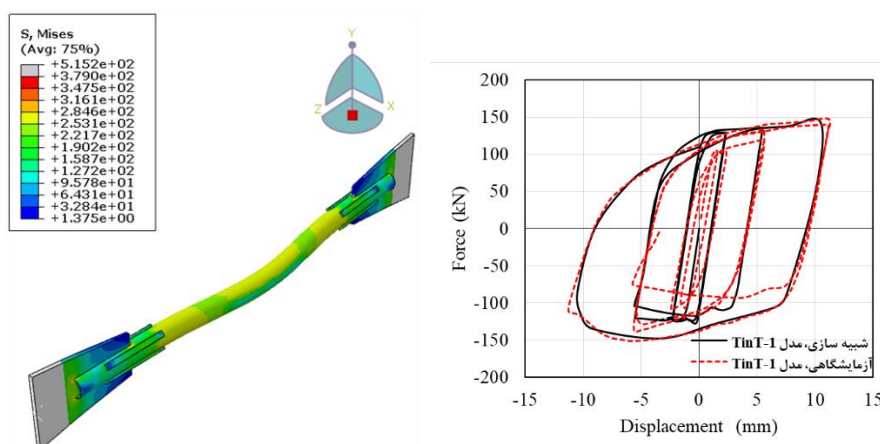
آزادی جهت عملکرد جوش استفاده می‌شود. در شکل (۳) نمونه‌ای از ابعاد هر یک از اعضا در اشکال ترسیم بر حسب میلی‌متر آورده شده است.

نام قطعه	مقطع دوبعدی (ابعاد به میلی‌متر)
گاست پلیت	
ورق سخت کننده	
مقطع عرضی جداره خارجی	
مقطع عرضی جداره داخلی	

شکل ۳. ابعاد مقاطع بادبند کمانش تاب در حالت دوبعدی

۳. صحت سنجی

برای کنترل و صحت رفتار لرزه‌ای مدل اجزای محدود ساخته شده لازم است، بین نتایج مدل تحلیلی و آزمایشگاهی مقایسه‌ای انجام شود. این مقایسه بین پاسخ‌های حاصل از مدل‌سازی اجزاء محدود ABAQUS و تحقیقات آزمایشگاهی سکر و شن در سال ۲۰۱۶، انجام شد [۲۲]. مجموعه‌ای از نمونه‌های فولادی از نوع Tube-in-Tube با پارامترهای طراحی مختلف در آزمایشگاه سازه دانشگاه ایالتی آیووا برای بررسی رفتار هیستریزیس تحت بارگذاری چرخه‌ای مورد آزمایش قرار گرفت. بخش مهاربندی اصلی با توجه به ظرفیت بارگذاری تجهیزات تست و همچنین ضخامت و نسبت عرض به ضخامت لوله داخلی انتخاب شد. طول کل بادبند ۱۲۶۷ میلی‌متر و مقطع جداره فولادی داخلی $84/3 \times 3/2$ O به طول ۱۰۶۶/۸ میلی‌متر و مقطع جداره فولادی خارجی $63/15 \times 3/2$ به طول ۱۰۶۶/۸ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. اعضای اصلی بادبند (جداره فولادی داخلی و خارجی) از جنس فولاد ASTM-500 بوده که در مدل‌سازی جوش بصورت قید Tie در نظر گرفته شده است.



شکل ۴. مقایسه نمودار هیستریزیس نتایج عددی و آزمایشگاهی

در شکل (۴) شماتیک بادبند و نمودار هیستریزیس حاصل از آزمایشگاه و نتایج شبیه‌سازی حاصل از نرم‌افزار اجزای محدود ABAQUS آمده است که اختلاف اندکی با نتایج آزمایشگاهی سکر و شن دارد. این مقایسه صحت پاسخ‌های حاصل از ABAQUS در تحقیق انجام شده و دقت این نرم‌افزار در مدل‌سازی را بیان می‌کند.

۴. مشخصات بادبندهای مدل شده

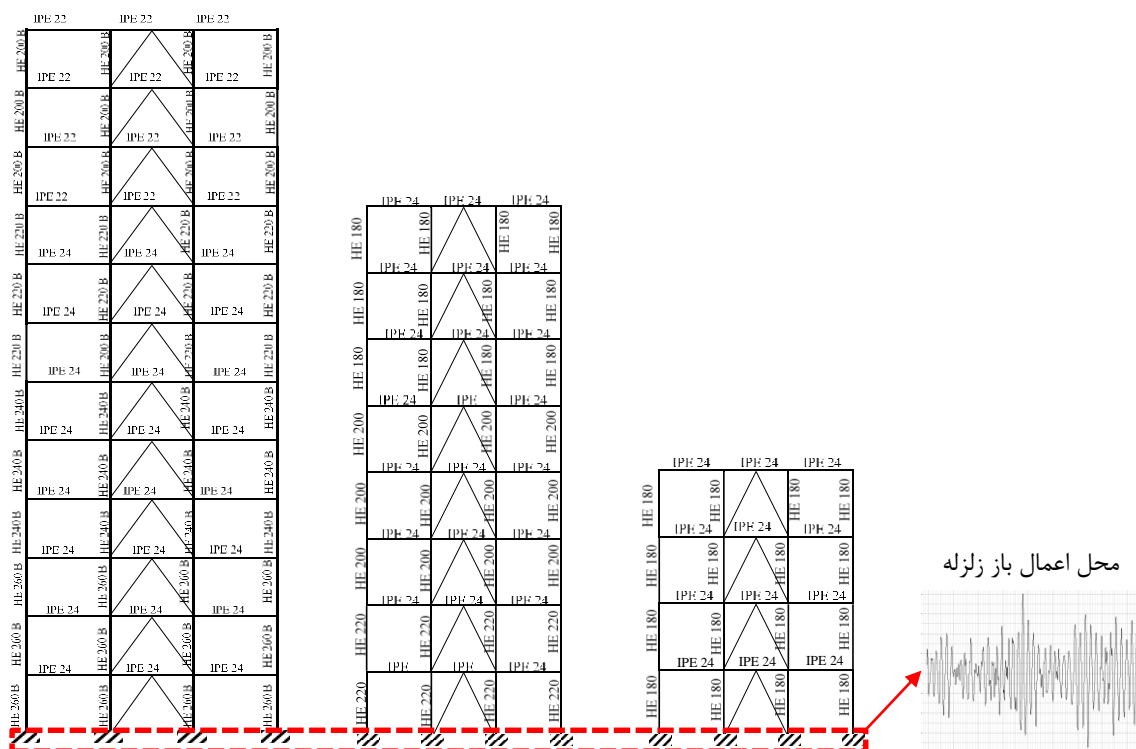
در این بخش به معرفی مدل‌های ساخته شده در نرم‌افزار آباکوس پرداخته می‌شود. راستای اصلی این پژوهش بررسی عددی رفتار نمونه قاب بادبندی است. پارامتر مورد ارزیابی این پژوهش تعداد طبقات، دهانه، ابعاد عضو-شعاع، شکل هندسی عضو و نوع بادبند انتخاب شده است. نمونه‌های مورد شبیه‌سازی بر اساس جدول (۲) نام‌گذاری شده است. در این نام‌گذاری عبارت اول معرف نام نمونه قاب بادبندی که با عبارت BRBF برای قاب با بادبند کمانش تاب و عبارت CBF برای قاب با بادبند همگرا معمول، عبارت دوم معرف تعداد طبقات، عبارت سوم معرف دهانه، عبارت چهارم شعاع دایره و عبارت پنجم هندسه هسته-دایره/مربع است. در ادامه در جدول (۳) جزئیات دهانه، تعداد طبقات، شعاع و هندسه مقطع و در شکل (۵) پروفیل‌های مورد استفاده نمونه‌های مورد بررسی و محل اعمال بار زلزله آورده شده است.

جدول ۲. نامگذاری نمونه قاب بادبندی

نام نمونه قاب بادبندی	تعداد طبقات	دهانه (متر)	شعاع دایره (میلی‌متر)	هندسه هسته-دایره/مربع
BRBF-8-4.5-24-C	۸	۴/۵	۲۴	C/S

جدول ۳. مدل‌های مورد بررسی در این مطالعه

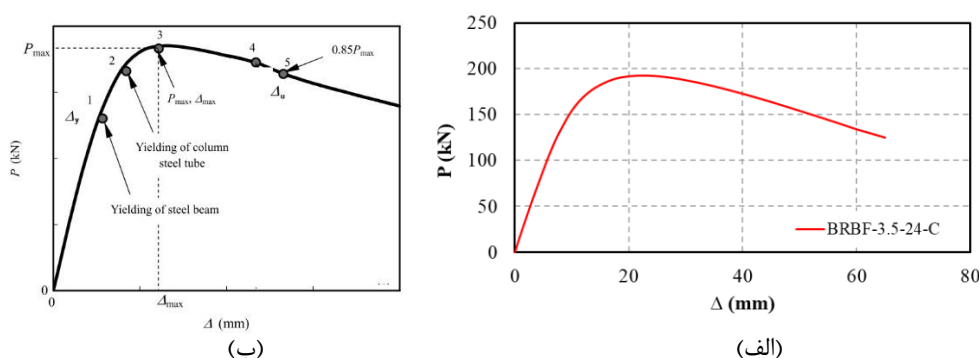
شمارنده	نمونه	طبقات	دهانه (متر)	ابعاد عضو - شعاع (میلیمتر)	شکل هندسی عضو
1	BRBF	4	4.5	24	دایره
2	BRBF	8	4.5	24	دایره
3	BRBF	12	3.5	24	دایره
4	BRBF	12	4.5	24	دایره
5	BRBF	12	5.5	24	دایره
6	BRBF	12	4.5	17	دایره
7	BRBF	12	4.5	24	دایره
8	BRBF	12	4.5	29.5	دایره
9	BRBF	12	4.5	24	مربع
10	CBF	4	4.5	24	دایره
11	CBF	8	4.5	24	دایره
12	CBF	12	3.5	24	دایره
13	CBF	12	4.5	24	دایره
14	CBF	12	5.5	24	دایره
15	CBF	12	4.5	17	دایره
16	CBF	12	4.5	24	دایره
17	CBF	12	4.5	29.5	دایره
18	CBF	12	4.5	24	مربع



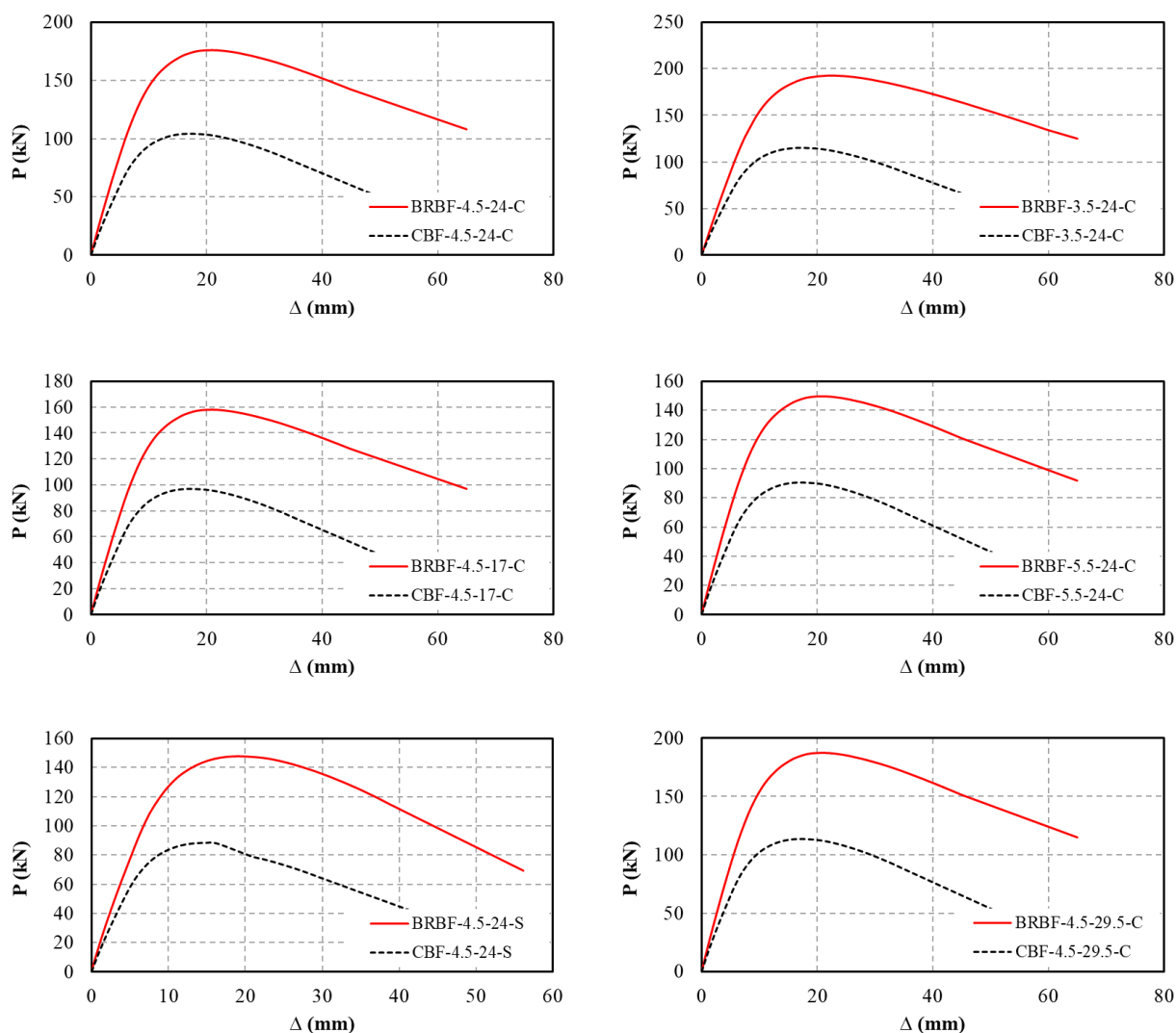
شکل ۵. مقاطع مورد استفاده در قاب‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه

۵. نمودارهای پوش‌آور بادبندهای BRBF و CBF

در این بخش به بررسی نمودارهای نیرو-جابجایی ۱۲ نمونه پرداخته شده است. نمودارها با توجه به بارگذاری افزایشی جانمایی به بالای بادبندها که دارای رفتار بارگذاری یکطرفه می‌باشد ترسیم شده است. نیروی استفاده شده برای ترسیم نمودار نیرو-جابجایی از بالای بادبندها گرفته شده است که خروجی مربوط به این نیرو در نرم افزار، RF نام دارد و برای هر یک از راستاهای مختصاتی قابل استخراج است. جابجایی استفاده شده برای ترسیم نمودار نیرو-جابجایی نیز از بالای بادبندها گرفته شده است. نمودار ترسیم شده در شکل (۶-ب)، مربوط به نمونه BRBF-3.5-24-C می‌باشد و نحوه محاسبه شاخص‌ها براساس شکل (۶-الف) است. برای الگوی بارگذاری جانبی از روش FEMA-356 برای تحلیل پوش‌آور استفاده شده است. در قسمت اول نمودار به دلیل رفتار الاستیک خطی بادبندها، بصورت خطی افزایش می‌یابد. با توجه به رفتار الاستیک مصالح در جابجایی‌های کم، قسمت اول نمودار خطی و شیب آن معرف شاخص سختی الاستیک نمونه‌ها می‌باشد. مقدار سختی الاستیک برای نمونه BRBF-3.5-24-C، $19/53$ کیلونیوتن بر میلی‌متر حاصل شده است. بعد از طی شدن رفتار خطی، با افزایش جابجایی رفتار مصالح وارد مرحله غیرخطی می‌شوند و جاری شدگی المانها در اعضای فولادی بادبندها شروع می‌گردد که دلیل این موضوع اثر بار محوری و جانبی می‌باشد. با افزایش جابجایی بالای نمونه، مقدار شیب افزایش نیرو از شیب اولیه کمتر می‌شود و نیرو با نرخ کمتری افزایش می‌یابد تا به بیشترین نیرو برسد که مقاومت نهایی نمونه بادبندها می‌باشد که مقدار مقاومت نهایی برای نمونه BRBF-3.5-24-C، $192/55$ کیلونیوتن حاصل شده است. بعد از افزایش جابجایی بالای مهاربند نیرو شروع به کاهش می‌کند و میزان این کاهش نیرو زمانی که به 85 درصد مقاومت نهایی برسد، شاخص شکل پذیری قابل محاسبه است [۲۳]. شاخص شکل پذیری نیز از تقسیم جابجایی معادل نیروی 85 درصد مقاومت نهایی تقسیم بر جابجایی معادل جاری شدگی حاصل می‌شود که برای نمونه ذکر شده $9/45$ حاصل شده است. در ادامه برای محاسبه شاخص‌ها از نمودارهای شکل (۷) استفاده شده است و مقادیر هر یک از شاخص‌ها و میزان تغییرات نسبی آن در جدول (۴) گزارش شده است. میزان تغییرات نسبی شاخص سختی و مقاومت و شکل‌پذیری در نمونه CBF نسبت به BRB محاسبه شده است که برای نمونه BRBF-3.5-24-C و CBF-3.5-24-C میزان کاهش به ترتیب 29 و 40 و 22 درصد، برای نمونه BRBF-4.5-24-C و CBF-4.5-24-C میزان کاهش به ترتیب 31 ، 41 و 21 درصد، برای نمونه BRBF-5.5-24-C و CBF-5.5-24-C میزان کاهش به ترتیب 33 ، 39 و 11 درصد، برای نمونه BRBF-4.5-17-C و CBF-4.5-17-C میزان کاهش به ترتیب 32 ، 38 و 12 درصد، برای نمونه BRBF-4.5-29.5-C و CBF-4.5-29.5-C میزان کاهش به ترتیب 38 ، 39 و 22 درصد، برای نمونه BRBF-4.5-24-S و CBF-4.5-24-S میزان کاهش به ترتیب 23 ، 40 و 23 درصد بدست آمده است. بیشترین کاهش نسبی شاخص سختی و مقاومت و شکل‌پذیری در نمونه CBF نسبت به BRB به میزان 38 ، 41 و 23 درصد حاصل گردید.



شکل ۶: نمودار نیرو-جابجایی، الف) شماتیک کلی نمودارها [۲۳]، ب) نمودار نمونه BRBF-3.5-24-C



شکل ۷. نمودار نیرو-جابجایی برای مدل‌های BRB و CBF مورد مطالعه

جدول ۴. نتایج شاخص‌های نمونه‌های بادبندی BRBF و CBF

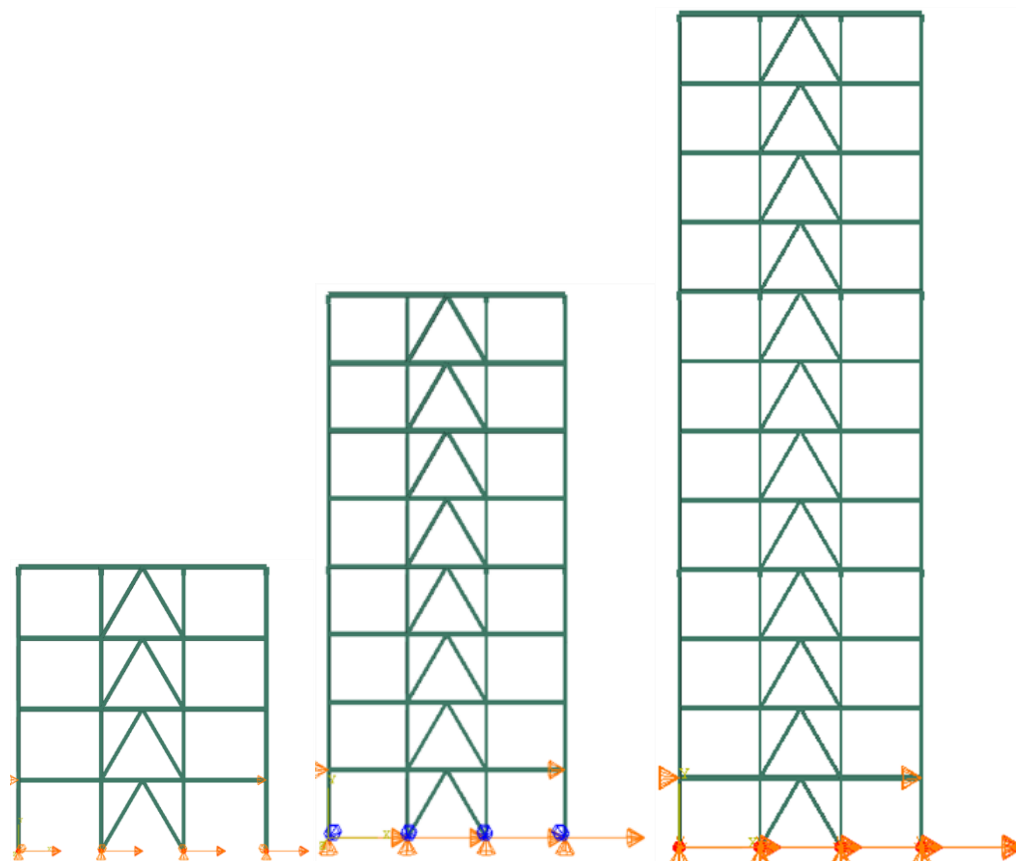
نمونه‌ها	سختی (kN/mm)	مقاومت (kN)	شکل پذیری	تغییرات نسبی سختی	تغییرات نسبی مقاومت	تغییرات نسبی شکل پذیری
BRBF-3.5-24-C	19.53	192.55	9.45	1.00	1.00	1.00
CBF-3.5-24-C	17.46	176.05	8.75	0.71	0.60	0.78
BRBF-4.5-24-C	15.37	149.64	7.25	1.00	1.00	1.00
CBF-4.5-24-C	16.23	158.02	6.80	0.69	0.59	0.79
BRBF-5.5-24-C	20.83	187.46	9.38	1.00	1.00	1.00
CBF-5.5-24-C	15.13	147.70	7.89	0.67	0.61	0.89
BRBF-4.5-17-C	13.83	115.41	7.36	1.00	1.00	1.00
CBF-4.5-17-C	12.03	104.15	6.87	0.68	0.61	0.88

BRBF-4.5-29.5-C	10.25	90.61	6.45	1.00	1.00	1.00
CBF-4.5-29.5-C	11.02	96.86	5.98	0.62	0.61	0.78
BRBF-4.5-24-S	12.89	113.53	7.34	1.00	1.00	1.00
CBF-4.5-24-S	11.61	88.48	6.05	0.77	0.60	0.77

۶. معرفی قاب‌های خمشی فولادی مورد مطالعه

در این بخش به طراحی قاب‌های خمشی فولادی مورد مطالعه در این پژوهش پرداخته شده است. در گام اول طراحی در نرم افزار ایتبس (ETABS) و مشخصات لرزه‌ای منطقه و بارگذاری فرض شده است و بعد از در نظر گرفتن فرضیات، قاب‌های خمشی مورد نظر در نرم افزار ترسیم و بارگذاری و مورد تحلیل و طراحی در حالت ۳ بعدی قرار گرفته شده است. با توجه به نتایج بهبود یافته هریک از شاخصهای سازه‌ای در باند BRBF نسبت به CBF که در قسمت اول مورد ارزیابی قرار گرفت، در ادامه به بررسی لرزه‌ای قابهای دارای BRB پرداخته شده است تا اثر دهانه و تعداد طبقات تعیین گردد. دهانه قاب‌های مورد بررسی با هم برابر و سه دهانه فرض شد و اندازه آکس به آکس ستون‌ها ۳/۵، ۴/۵ و ۵/۵ متر در نظر گرفته شده است. با فرض وجود یک طبقه زیرزمین، ارتفاع صفر بر روی زمین و تراز پایه در طبقه اول فرض شده است. برای اعمال بارگذاری از بار مرده، زنده، پارتیشن و برف استفاده شده و مقدار هریک از آن‌ها به ترتیب ۵۰۰، ۲۵۰، ۱۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمربع فرض شده است. در شکل (۸) شرایط مرزی و مقاطع قاب‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه در محیط آباکوس نشان داده شده است. دهانه‌ها و ارتفاع‌های هر سه قاب با هم برابر است و فاصله سقف‌ها ۳/۲ متر و فاصله ستون‌ها متغیر (۳/۵، ۴/۵ و ۵/۵) متر فرض شده است. در تیرها از مقطع تیپ با پروفیل IPE22 و IPE24 و ستون‌ها با مقطع HEB یا IPB دارای سه تیپ ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۴ و ۲۶ استفاده گردید.

در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، برای ترسیم طیف طرح استاندارد باید نتایج حاصل از طیف بازتاب قاب در شتاب مبنای طرح (A) و ضریب اهمیت ساختمان (B) ضرب گردد. باید به این نکته نیز توجه داشت که طبق بند ۲-۴ ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، زمانی که روش آنالیز غیرخطی است لازم به در نظر گرفتن ضریب رفتار در طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ نمی‌باشد. گام دیگر در مقیاس کردن، بعد از میانگین گرفتن از هفت طیف حداکثر، باید ضریب مقیاسی محاسبه گردد که با ضرب آن در مقدار میانگین هفت طیف، مقدار این طیف برای قاب‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه باید در محدوده T/۲ الی T/۵ از ۱/۳ برابر مقادیر متناظر طیف طرح استاندارد کمتر نگردد. در ادامه برای استفاده از رکوردهای حوزه دور گسل (جدول ۵) ضرایب مقیاس به شتاب‌ها اعمال شده و رکوردهای مقیاس شده مجدداً به نرم افزار سیزموسیگنال داده می‌شود و خروجی جابجایی-زمان از آن گرفته شده است. در گام بعدی این خروجی به عنوان ورودی در دامنه آنالیز دینامیکی قاب‌ها در نرم افزار آباکوس استفاده شده است. بعد از اضافه شدن باند های کمانش تاب قاب بصورت دوگانه عملکرد پیدا می‌کند.



شکل ۸. شرایط مرزی و هندسه قاب‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه در محیط آباکوس

جدول ۵. ضریب مقایس و ماکزیمم PGA در قاب ۴ طبقه-دور از گسل

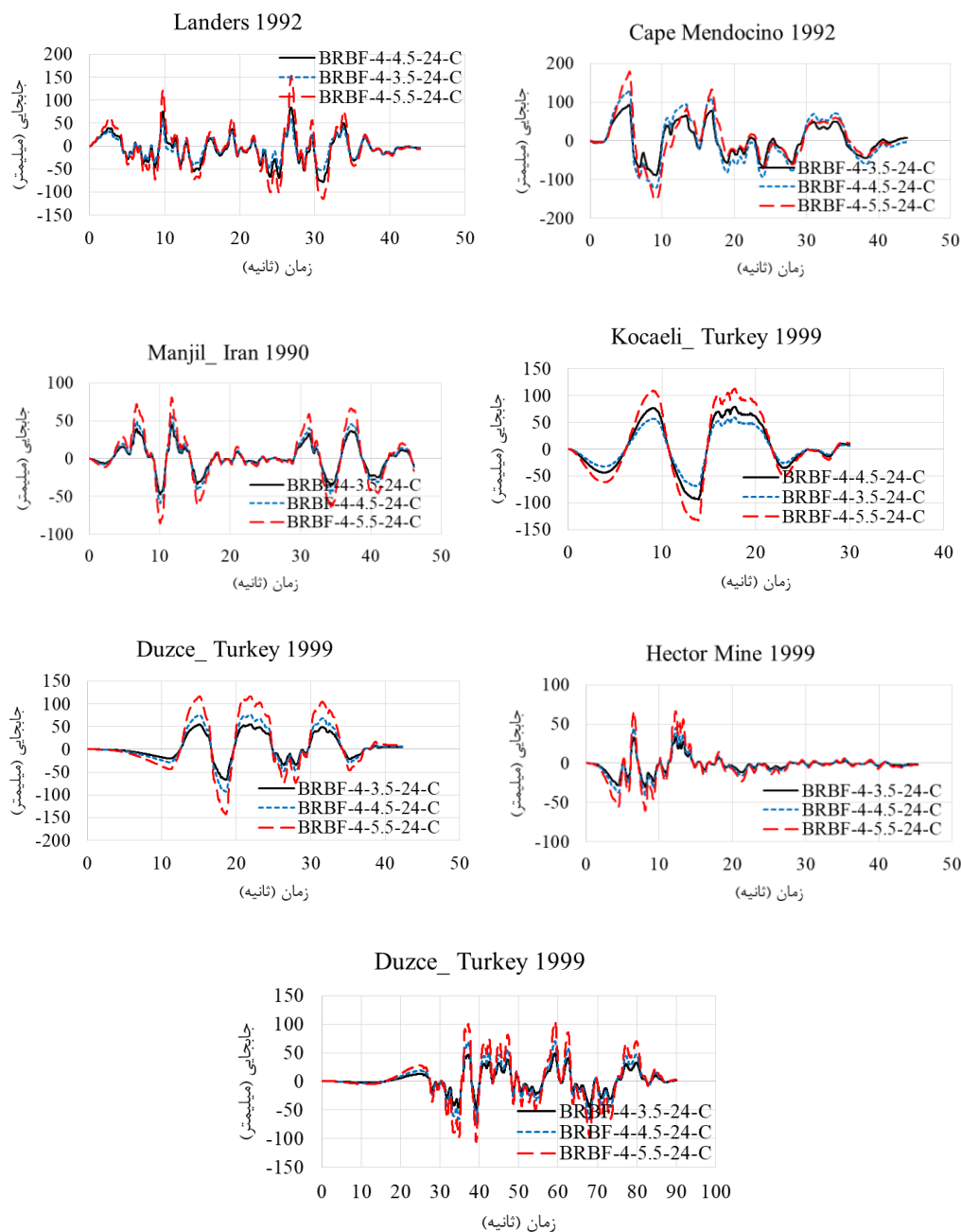
نام زلزله	مقدار حداکثر زوج شتاب نگاشت	ضرایب مقیاس ۱	ضرایب مقیاس ۲	ضریب مقیاس نهایی
1. Cape Mendocino 1992	0.12	8.56	0.69	5.91
2. Landers 1992	0.28	3.52	0.69	2.43
3. Kocaeli_ Turkey 1999	0.21	4.76	0.69	3.28
4. Chi-Chi_ Taiwan 1999	0.29	3.46	0.69	2.39
5. Duzce_ Turkey 1999	0.13	7.62	0.69	5.26
6. Manjil_ Iran 1990	0.51	1.94	0.69	1.34
7. Hector Mine 1999	0.5	2.01	0.69	1.39

۷. نتایج حاصل از آنالیز لرزه‌ای قاب مهاربندی BRB

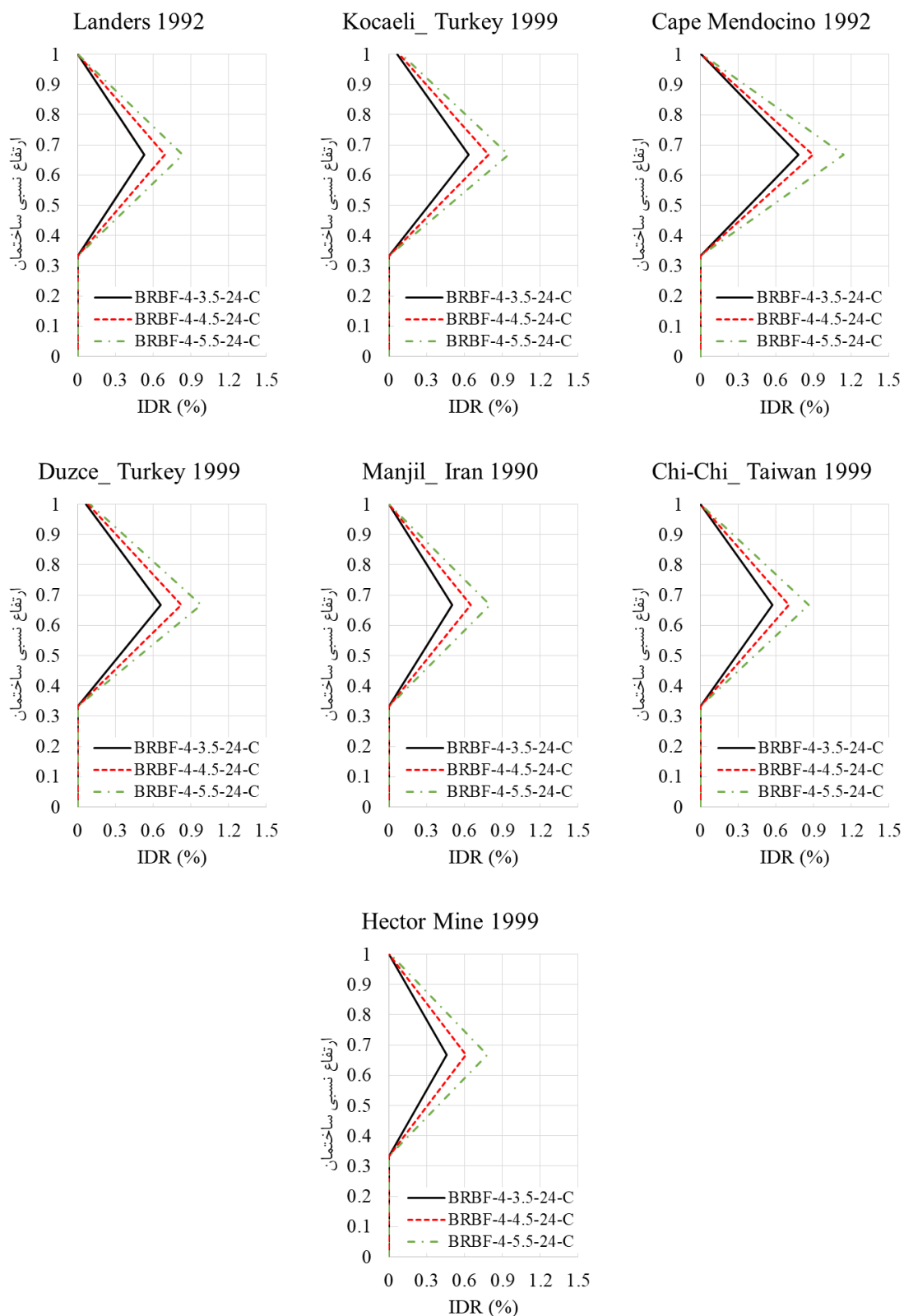
در این بخش به بررسی نتایج حاصل از آنالیز لرزه‌ای قاب مهاربندی CBF و BRB ۴، ۸ و ۱۲ طبقه پرداخته شده است. در قاب‌های مورد بررسی از سه دهانه، سه حالت ابعاد متغییر و دو حالت هندسه استفاده شده است و به هر یک از قاب‌های مورد بررسی رکوردهای زلزله حوزه دور وارد شده است. نتایج مورد مقایسه براساس نمودارهای جابجایی-زمان و دوران طبقات است که در ادامه به صورت کامل ارائه شده است.

۷-۱. پاسخ سازه در زلزله حوزه دور از گسل

در این بخش به پاسخ قاب‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه در زلزله حوزه دور از گسل پرداخته شده است. نتایج جابجایی بام هر یک از قاب مهابندی BRB تحت رکوردهای مختلف دور از گسل بر حسب زمان در شکل (۷) برای سازه ۴ طبقه ترسیم شده است. با توجه به شکل (۸) بیشترین دوران و جابجایی سازه ۴ طبقه در رکوردهای مورد بررسی مربوط به زلزله Cap است و کمترین آن مربوط به زلزله Hector حاصل شده است. در هر سه حالت BRBF-4-3.5-24-C، BRBF-4-4.5-24-C و BRBF-4-5.5-24-C بیشترین دررفت و دوران در قاب BRBF-4-5.5-24-C و کمترین در قاب BRBF-4-3.5-24-C رخ داده است و میزان دررفت بام در قاب BRBF-4-5.5-24-C نسبت به BRBF-4-3.5-24-C در حدود ۱/۲۵ تا ۱/۴۱ برابر حاصل شده است.



شکل ۷. نمودارهای تاریخچه زمانی جابجایی بام-زمان برای سازه چهار طبقه BRBF-4-5.5-24-C و BRBF-4-4.5-24-C، BRBF-4-3.5-24-C



شکل ۸. میزان تغییرات زاویه دریفت نسبی در قاب ۴ طبقه BRBF-4-3.5-24-C، BRBF-4-4.5-24-C و BRBF-4-5.5-24-C

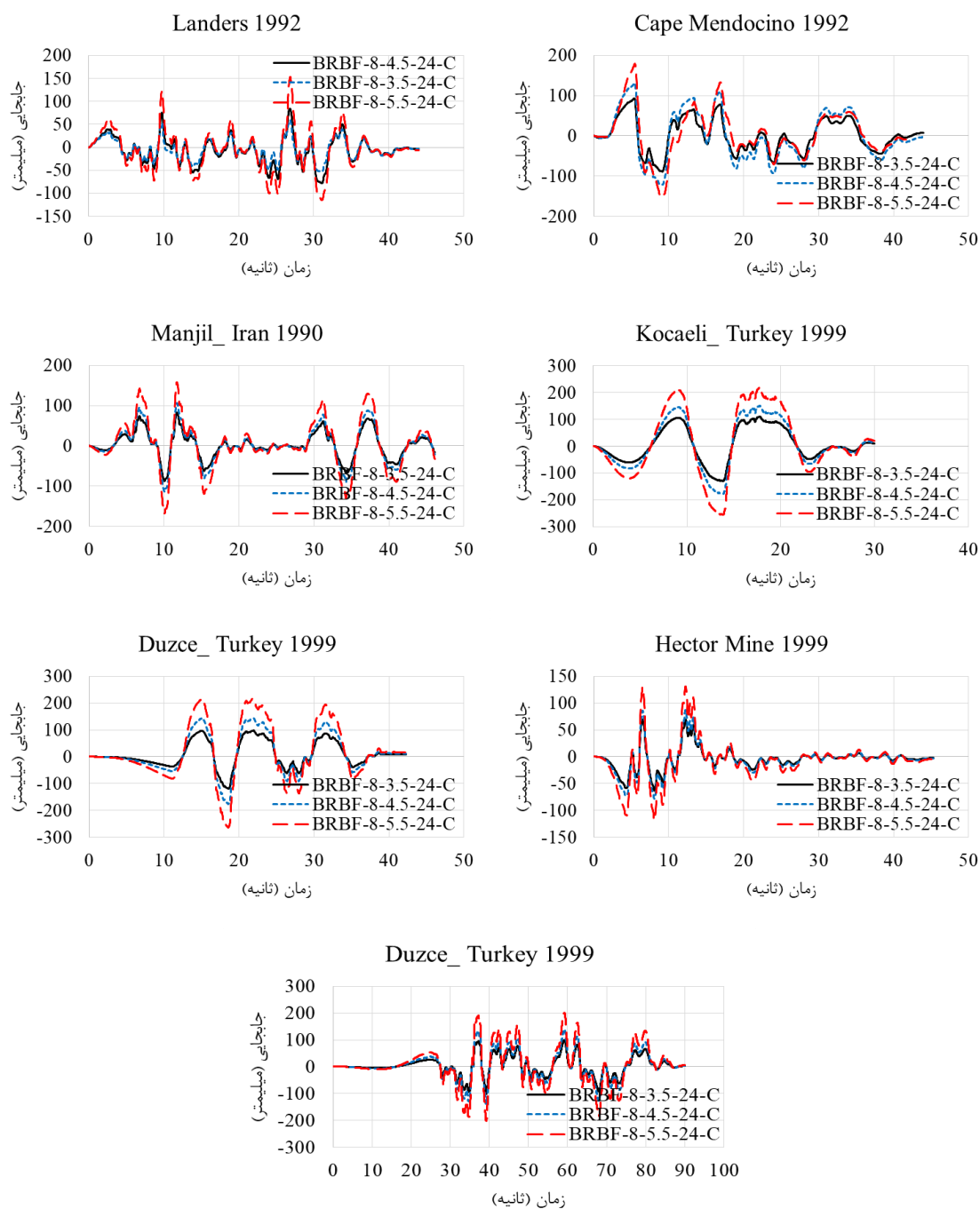
در این قسمت با توجه به آنالیز تاریخیچه زمانی قاب‌های مورد مطالعه در جدول (۶) به مقایسه پیشینه جابجایی نمونه‌های ۴ طبقه تحت شتاب‌نگاشتهای مختلف پرداخته شده است. در قاب ۴ طبقه در بین ۷ شتاب‌نگاشتهای مورد بررسی زلزله لندرز بیشترین جابجایی را در سازه ایجاد کرده است و بیشترین جابجایی بام در سازه ۴ طبقه ۰/۱۵ متر حاصل شده است.

جدول ۶. مقایسه پیشینه جابجایی نمونه‌های ۴ طبقه تحت شتاب‌نگاشتهای مختلف

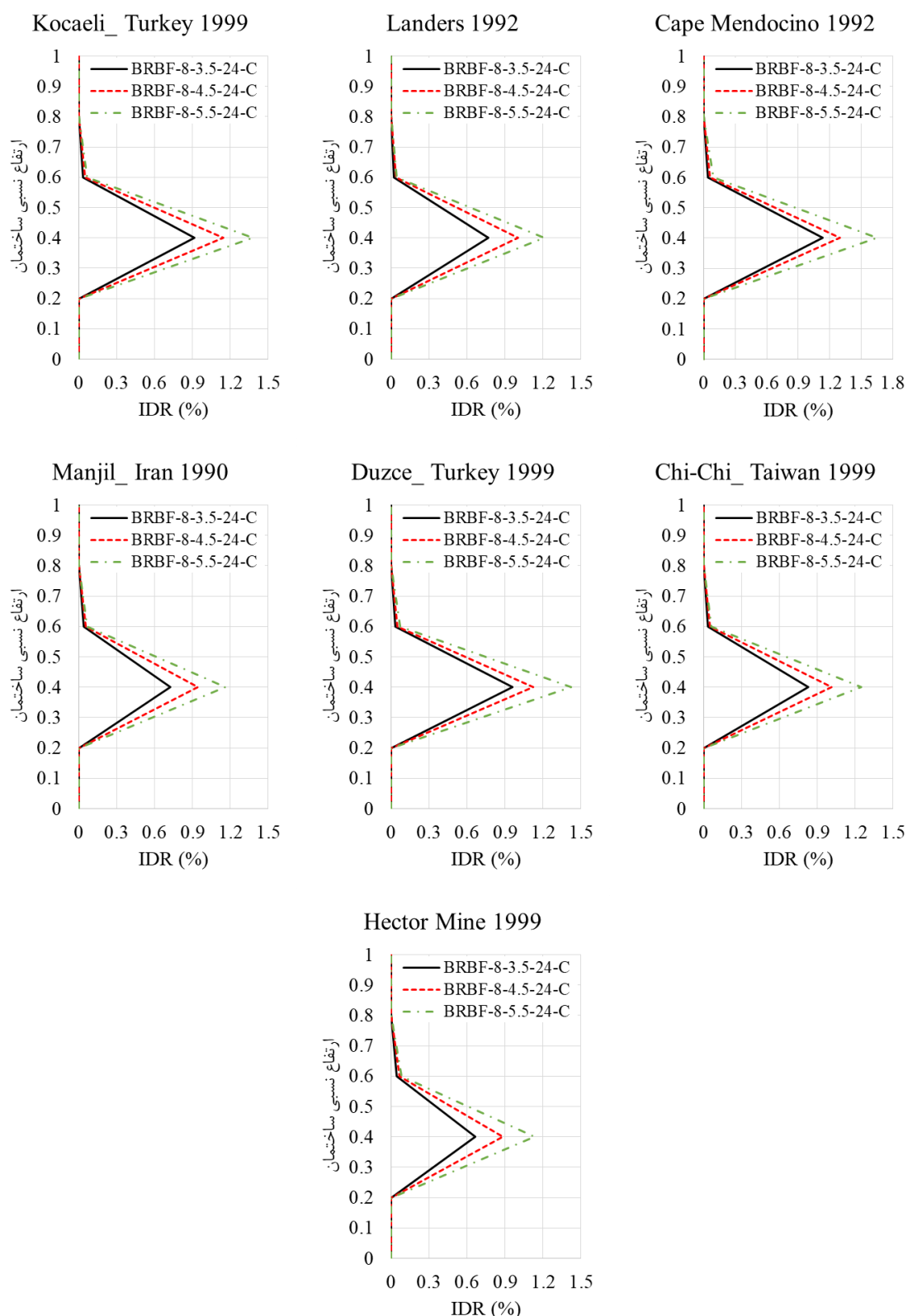
نام مدل	پیشینه جابجایی بر حسب میلیمتر						
	Cape Mendocino 1992	Landers 1992	Kocaeli_Turkey 1999	Manjil_Iran 1990	Hector Mine 1999	Duzce_Turkey 1999	Chi-Chi_Taiwan 1999
BRBF-4-3.5-24-C	49.43	84.41	69.20	47.42	33.39	67.01	49.49
BRBF-4-4.5-24-C	71.64	58.78	93.52	59.27	45.12	93.07	73.64
BRBF-4-5.5-24-C	106.02	152.24	132.80	85.95	66.77	142.40	108.02

نتایج جابجایی بام هر یک از قاب‌ها تحت رکوردهای مختلف دور از گسل بر حسب زمان در شکل (۹) برای سازه ۸ طبقه BRBF-8-3.5-24-C، BRBF-8-4.5-24-C و BRBF-8-5.5-24-C ترسیم شده است. با توجه به شکل (۱۰) بیشترین دوران و جابجایی سازه ۸ طبقه در رکوردهای مورد بررسی مربوط به زلزله Cap است و کمترین آن مربوط به زلزله Hector حاصل شده است. در هر سه حالت BRBF-8-3.5-24-C، BRBF-8-4.5-24-C و BRBF-8-5.5-24-C بیشترین دررفت و دوران در قاب BRBF-8-5.5-24-C و کمترین در قاب BRBF-8-3.5-24-C رخ داده است و میزان دررفت بام در BRBF-8-5.5-24-C نسبت به BRBF-8-3.5-24-C در حدود ۱/۲۱ تا ۱/۴۸ برابر حاصل شده است. در این قسمت با توجه به آنالیز تاریخیچه زمانی قاب‌های مورد مطالعه در جدول (۷) به مقایسه پیشینه جابجایی نمونه‌های ۸ طبقه تحت شتاب‌نگاشتهای مختلف پرداخته شده است. در قاب ۸ طبقه در بین ۷ شتاب‌نگاشتهای مورد بررسی زلزله دوکز ترکیه بیشترین جابجایی را در سازه ایجاد کرده است و بیشترین جابجایی بام در سازه ۸ طبقه ۰/۲۶ متر حاصل شده است.

نتایج جابجایی بام هر یک از قاب‌ها تحت رکوردهای مختلف دور از گسل بر حسب زمان در شکل (۱۱) برای سازه ۱۲ طبقه BRBF-12-3.5-24-C، BRBF-12-4.5-24-C و BRBF-12-5.5-24-C ترسیم شده است. با توجه به شکل (۱۲) بیشترین دوران و جابجایی سازه ۱۲ طبقه در رکوردهای مورد بررسی مربوط به زلزله Cap است و کمترین آن مربوط به زلزله Hector حاصل شده است. در هر سه حالت اتصال HBS-W-25، HBS-W-1000 و RBS، بیشترین دررفت و دوران در قاب BRBF-12-5.5-24-C و کمترین در قاب BRBF-12-3.5-24-C رخ داده است و میزان دررفت بام در قاب BRBF-12-5.5-24-C نسبت به BRBF-12-3.5-24-C در حدود ۱/۱۹ تا ۱/۵۱ برابر حاصل شده است. در این قسمت با توجه به آنالیز تاریخیچه زمانی قاب‌های مورد مطالعه در جدول (۸) به مقایسه پیشینه جابجایی نمونه‌های ۱۲ طبقه تحت شتاب‌نگاشتهای مختلف پرداخته شده است. در قاب ۱۲ طبقه در بین ۷ شتاب‌نگاشتهای مورد بررسی زلزله لندرز بیشترین جابجایی را در سازه ایجاد کرده است و بیشترین جابجایی بام در سازه ۱۲ طبقه ۰/۵ متر حاصل شده است.



شکل ۹. نمودارهای تاریخچه زمانی جابجایی بام-زمان برای سازه ۸ طبقه BRBF-8-3.5-24-C, BRBF-8-4.5-24-C و BRBF-8-5.5-24-C

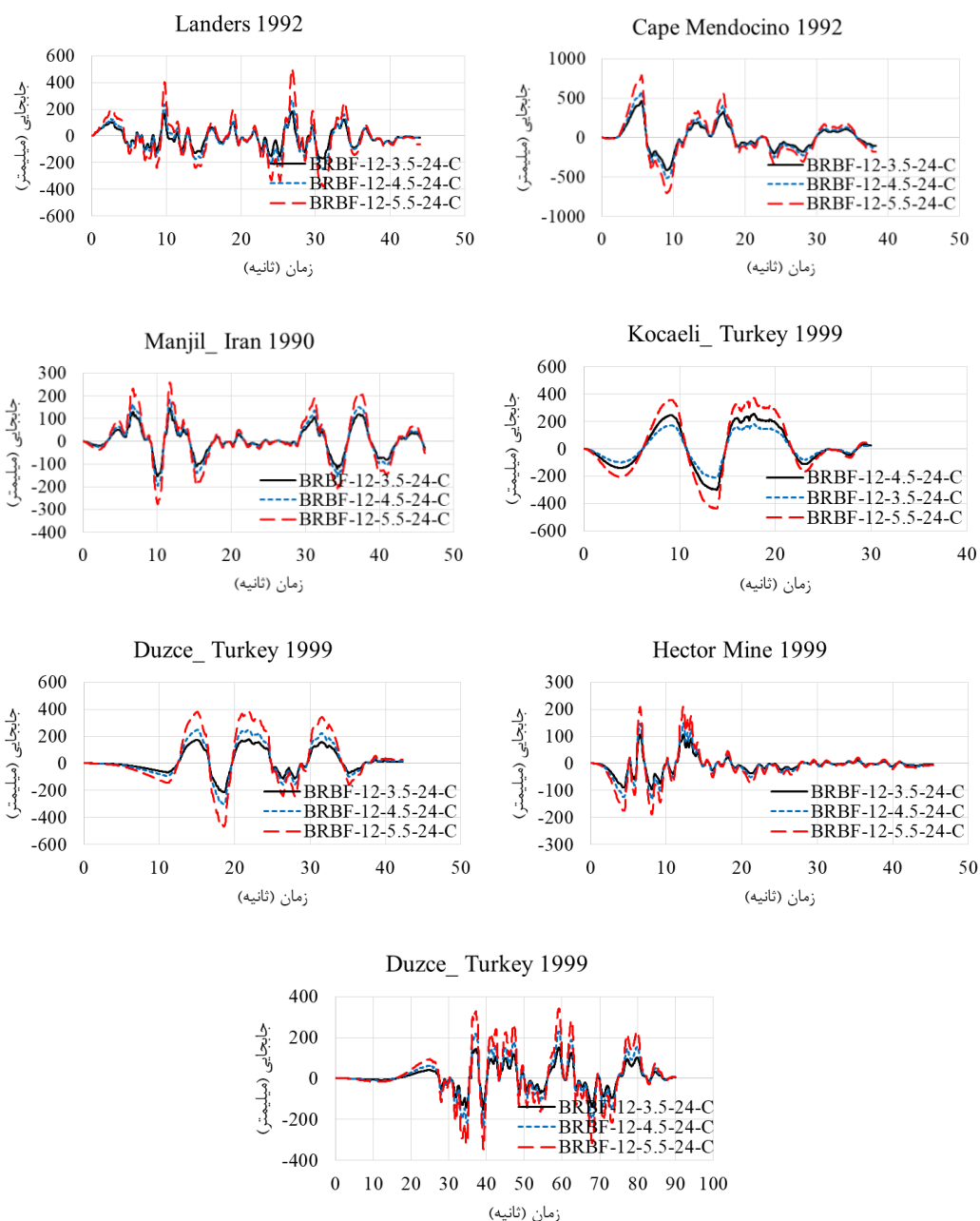


شکل ۱۰. میزان تغییرات زاویه دریفت نسبی در قاب ۸ طبقه BRBF-8-3.5-24-C، BRBF-8-4.5-24-C و BRBF-8-5.5-24-C

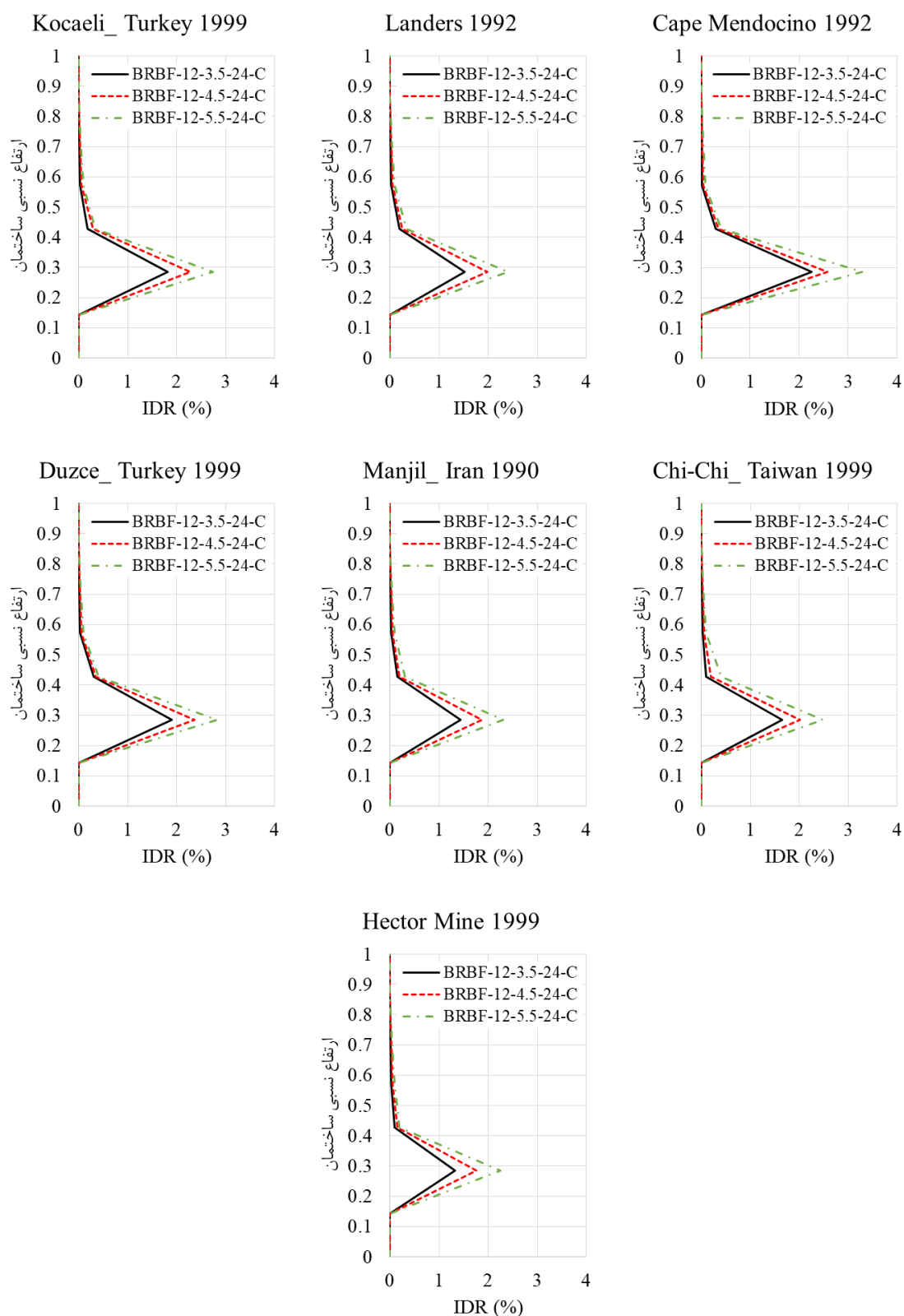
جدول ۷. مقایسه بیشینه جابجایی نمونه‌های ۸ طبقه تحت شتاب‌نگاشتهای مختلف

بیشینه جابجایی بر حسب میلیمتر

نام مدل	Cape Mendocino 1992	Landers 1992	Kocaeli_ Turkey 1999	Manjil_ Iran 1990	Hector Mine 1999	Duzce_ Turkey 1999	Chi-Chi_ Taiwan 1999
BRBF-8-3.5-24-C	92.96	84.41	130.10	87.72	70.11	119.28	101.84
BRBF-8-4.5-24-C	130.58	58.78	177.69	113.80	87.08	175.91	139.34
BRBF-8-5.5-24-C	179.51	152.24	256.30	168.45	130.88	264.87	202.93



شکل ۱۱. نمودارهای تاریخچه زمانی جابجایی بام-زمان برای سازه ۱۲ طبقه BRBF-12-3.5-24-C و BRBF-12-4.5-24-C و BRBF-12-5.5-24-C



شکل ۱۲. میزان تغییرات زاویه دررفت نسبی در قاب ۱۲ طبقه BRBF-12-3.5-24-C، BRBF-12-4.5-24-C و BRBF-12-5.5-24-C

جدول ۸. مقایسه بیشینه جابجایی نمونه‌های ۱۲ طبقه تحت شتاب‌نگاشتهای مختلف

بیشینه جابجایی بر حسب میلی‌متر

نام مدل	Cape Mendocino 1992	Landers 1992	Kocaeli_ Turkey 1999	Manjil_ Iran 1990	Hector Mine 1999	Duzce_ Turkey 1999	Chi-Chi_ Taiwan 1999
BRBF-12-3.5-24-C	153.23	270.10	211.07	154.11	107.51	214.44	153.23
BRBF-12-4.5-24-C	232.82	185.17	299.26	196.19	148.44	303.42	238.12
BRBF-12-5.5-24-C	346.70	502.39	438.23	275.89	210.34	467.08	349.40

۸. نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی تاثیر استفاده از بادبند کمانش تاب در ساختمانهای فولادی به منظور دسترسی به سطح عملکرد خدمات رسانی بی وقفه پرداخته شده است. در این پژوهش به صحت‌سنجی، مطالعه پارامتریک، حساسیت‌سنجی بادبند کمانش تاب، مدل‌سازی در فضای دوبعدی و سه بعدی بادبند و آنالیز لرزه‌ای قاب‌های دارای بادبند تحت رکوردهای مختلف شتاب نگاشت پرداخته شده است. برای آنالیز لرزه‌ای هریک از قاب‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه از ۷ شتاب نگاشت استفاده گردید. خروجی‌های گرفته شده بر اساس نتایج نمودارهای پوش اور و تاریخچه-زمانی و دریافت نسبی طبقات استخراج شده از مدل‌های عددی به تفسیر و تحلیل نتایج پرداخته شد. نتایج حاصل از قاب مهاربندی کمانش تاب مورد بررسی در این پژوهش که BRBF نام دارد در این بخش ارائه شده است. در ادامه با توجه به بررسی‌های انجام گرفته و خروجی‌های نمونه‌های عددی این پژوهش، نتایج زیر را می‌توان ارائه نمود:

- ۱- با کاهش و افزایش ۲۲ درصدی (از ۴/۵ به ۳/۵ متر- از ۴/۵ به ۵/۵ متر) دهانه بادبند BRBF، به ترتیب درصد نسبی افزایش و کاهش سختی ۱۲ درصد، درصد نسبی افزایش و کاهش مقاومت ۹ و ۱۵ درصد و درصد نسبی افزایش و کاهش شکل‌پذیری ۷ تا ۱۷ درصد حاصل گردید.
- ۲- با افزایش و کاهش ۵۰ درصدی (تغییر شعاع از ۲۴ به ۲۹/۵ میلی‌متر- از ۲۴ به ۱۷ میلی‌متر) سطح مقطع بادبند BRBF، درصد نسبی افزایش و کاهش سختی ۱۹ و ۷ درصد، درصد نسبی افزایش و کاهش مقاومت ۶ و ۱۰ درصد و درصد نسبی افزایش و کاهش شکل‌پذیری ۷ تا ۲۲ درصد حاصل گردید.
- ۳- با تغییر هندسه مقطع از دایره به مربع بادبند BRBF، درصد نسبی کاهش سختی ۲ درصد، درصد نسبی کاهش مقاومت ۱۶ درصد و درصد نسبی کاهش شکل‌پذیری ۱۰ درصد حاصل گردید.
- ۴- با کاهش و افزایش ۲۲ درصدی (از ۴/۵ به ۳/۵ متر- از ۴/۵ به ۵/۵ متر) دهانه بادبند CBF، به ترتیب درصد نسبی افزایش و کاهش سختی ۱۵ درصد، درصد نسبی افزایش و کاهش مقاومت ۱۱ و ۱۳ درصد و درصد نسبی افزایش و کاهش شکل‌پذیری ۷ و ۶ درصد حاصل گردید.
- ۵- با افزایش و کاهش ۵۰ درصدی (تغییر شعاع از ۲۴ به ۲۹/۵ میلی‌متر- از ۲۴ به ۱۷ میلی‌متر) سطح مقطع بادبند CBF، درصد نسبی افزایش و کاهش سختی ۷ و ۸ درصد، درصد نسبی افزایش و کاهش مقاومت ۹ و ۷ درصد و درصد نسبی افزایش و کاهش شکل‌پذیری ۷ تا ۱۳ درصد حاصل گردید.
- ۶- با تغییر هندسه مقطع از دایره به مربع بادبند CBF، درصد نسبی کاهش سختی ۳ درصد، درصد نسبی کاهش مقاومت ۱۵ درصد و درصد نسبی کاهش شکل‌پذیری ۱۲ درصد حاصل گردید.
- ۷- با تغییر نوع بادبند از CBF به BRBF، درصد نسبی افزایش سختی ما بین ۳۰ تا ۶۲ درصد، درصد نسبی افزایش مقاومت بین ۶۳ تا ۶۹ درصد و درصد نسبی افزایش شکل‌پذیری بین ۱۲ تا ۳۰ درصد حاصل گردید.

- ۸- میزان دریفت بام در تحلیل تاریخیچه زمانی تحت زلزله‌های مختلف، در قاب BRB ۴ طبقه با دهانه ۵/۵ نسبت به دهانه ۳/۵ متر در محدوده ۱/۲۵ تا ۱/۴۱ برابر حاصل شده است.
- ۹- میزان دریفت بام در تحلیل تاریخیچه زمانی تحت زلزله‌های مختلف، در قاب BRB ۸ طبقه با دهانه ۵/۵ نسبت به دهانه ۳/۵ متر در محدوده ۱/۲۱ تا ۱/۴۸ برابر حاصل شده است.
- ۱۰- میزان دریفت بام در تحلیل تاریخیچه زمانی تحت زلزله‌های مختلف، در قاب BRB ۱۲ طبقه با دهانه ۵/۵ نسبت به دهانه ۳/۵ متر در محدوده ۱/۱۹ تا ۱/۵۱ برابر حاصل شده است.
- ۱۱- شاخص‌های سختی و مقاومت نهایی و شکل‌پذیری با افزایش دهانه کاهش، با افزایش سطح مقطع افزایش و با افزایش ارتفاع کاهش یافته است.
- ۱۲- روند تشکیل مفصل پلاستیک و طول ناحیه پلاستیک در بادبند BRB پیوسته و باعث جلوگیری از تمرکز تنش می‌شود و شکست را به تاخیر و استهلاک انرژی را بیشتر می‌کند در حالی که در بادبند CBF برعکس است.
- ۱۳- با توجه به نتایج مدل‌سازی به دلیل کنترل‌کننده بودن رفتار بادبند BRB، پارامتری که بیشترین تاثیر در شاخص سختی و شکل‌پذیری را دارد پارامتر سطح مقطع و پارامتری که بیشترین تاثیر در شاخص مقاومت را دارد پارامتر هندسه مقطع می‌باشد.

۹. مراجع

- [1]. Clark, P., Aiken I. D., Ko, E., Kasai, K., and Kimura I. (1999). "Design procedures for buildings incorporating hysteretic damping devices", Proceedings of the 68th Annual Convention of the Structural Engineers Association of California, Sacramento, CA.
- [2]. Whittaker, A. S., Uang, C.-M., and Bertero, V. V. (1987). "Earthquake Simulation Tests and Associated Studies of a 0.3-Scale Model of a Six-Story Eccentrically Braced Steel Structure", Report No. UCB/EERC-87/02, Earthquake Eng. Research Center, University of California, Berkeley, CA.
- [3]. Gupta, A., and Krawinkler, H. (2000a). "Estimation of Seismic Drift Demands for Frame Structures", Earthquake Eng. Struct. Dyn., Vol. 29, No. 9, pp. 1287-1305.
- [4]. Gupta, A., and Krawinkler, H. (2000b). "Dynamic $P-\Delta$ Effects for Flexible Inelastic Steel Structures", ASCE Journal of Struct. Eng., Vol. 126, No. 1, pp. 145-154.
- [5]. Marino, E. M., and Nakashima, M. (2006). "Seismic Performance and New Design Procedure for Chevron-Braced Frames", Earthquake Eng. Struct. Dyn., Vol. 35, No. 4, pp. 433-452.
- [6]. Chen, C.-H., Lai, J. W., and Mahin, S. A., (2008). "Seismic Performance Assessment of Concentrically Braced Steel Frame Buildings", Paper No. 05-05-0158, Proc. 14th World Conf. on Earthquake Eng., Beijing, China.
- [7]. MacRae, G. A., Kimura, Y., and Roeder, C. (2004). "Effect of Column Stiffness on Braced Frame Seismic Behavior", ASCE J. Struct. Eng., Vol. 130, No. 3, pp. 381-391.
- [8]. Karavasilis, T. L., Bazeos, N., and Beskos, D. E. (2007). "Estimation of Seismic Drift and Ductility Demands in Planar Regular X-Braced Steel Frames", Earthquake Eng. Struct. Dyn., Vol. 36, No. 15, pp. 2273-2289.
- [9]. Tremblay, R., Lacerte, M., and Christopoulos, C. (2008). "Seismic Response of Multi-Story Buildings with Self-Centering Energy Dissipative Steel Braces", ASCE J. Struct. Eng., Vol. 134, No. 1, pp. 108-120.
- [10]. Krawinkler, H., and Zareian, F. (2007). "Prediction of Collapse—How Realistic and Practical Is It, and What Can We Learn From It?", Struct. Design Tall Spec. Build., Vol. 16, pp. 633-653.
- [11]. Tremblay, R., and Poncet, L. (2004). "Improving the seismic stability of concentrically braced steel frames", Proceedings 2004 SSRC Annual Technical Session & Meeting, pp. 19-38, Long Beach, CA.
- [12]. McCormick, J., Aburano, H., Ikenaga, M., and Nakashima, M. (2008). "Permissible residual deformation levels for building structures considering both safety and human elements", Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering. Beijing, Paper No. 05-06-0071.
- [13]. Sabelli, R. (2001). "Research on improving the design and analysis of earthquake-resistant steel braced frames", The 2000 NEHRP Professional Fellowship Rep., Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, Calif.
- [14]. Fahnestock, L. A., Sause, R., and Ricles, J. M. (2006). "Analytical and large-scale experimental studies of earthquake resistant buckling-restrained braced frame systems", ATLSS Rep. No. 06-01, Lehigh Univ., Bethlehem, Pa.

- [15]. Atlayan, O. (2013). "Hybrid steel frames", Ph.D. Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, Virginia Tech, Blacksburg, VA.
- [16]. Atlayan, O., and Charney, F. (2014). "Hybrid buckling-restrained braced frames", Journal of Constructional Steel Research, May, pp. 95-105.
- [17]. Kiggins, S., and Uang, C. M. (2006). "Reducing residual drift of buckling-restrained braced frames as a dual system", Engineering Structures, 28, pp. 1525-1532.
- [18]. Ariyaratana, C. A., and Fahnstock, L. A. (2011). "Evaluation of buckling-restrained braced frame seismic performance considering reserve strength", Engineering Structures, 33, pp. 77-89.
- [19]. Maley T. et al. (2010). "Development of a Displacement-Based Design Method for Steel Dual Systems with Buckling-Restrained Braces and Moment-Resisting Frames", Journal of Earthquake Engineering, 14:1, 106-140.
- [20]. MacRae, G. A., Kimura, Y., and Roeder, C. (2004). "Effect of Column Stiffness on Braced Frame Seismic Behavior", ASCE J. Struct. Eng., Vol. 130, No. 3, pp. 381-391.
- [21]. Ji X, Kato M, Wang T, Hitaka T, and Nakashima M. (2009). "Effect of gravity columns on mitigation of drift concentration for braced frames", Journal of Constructional Steel Research, 65, 2148-56.
- [22]. Shen, J., Seker, O., Sutchiewcharn, N. and Akbas, B., 2016. "Cyclic behavior of buckling-controlled braces. Journal of Constructional Steel Research", 121, pp.110-125.
- [23]. Takeuchi et al (2008). "Estimation of Cumulative Deformation Capacity of Buckling-Restrained Braces", Journal of Structural Engineering, Vol. 134, No. 5, May 1, 2008.
- [۲۴]. استاندارد ۲۸۰۰. ویرایش چهارم. ۱۳۹۴. "آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله" \مبحث دهم مقررات ملی ساختمان. ویرایش چهارم. ۱۳۹۲. "آیین نامه طراحی سازه های فولادی".
- [25]. Tan Q, Wu B, Shi P, Xu G, Wang Z, Sun J, Lehman DE. "Experimental Performance of a Full-Scale Spatial RC Frame with Buckling-Restrained Braces Subjected to Bidirectional Loading", Journal of Structural Engineering. 2021 Mar 1;147(3):04020352.
- [26]. Song YS, Guo T, Wang JS, Xuan WH, Chen YZ. "Seismic Fragility Evaluation of SCCB-Enhanced RC Frame Structures", Journal of Performance of Constructed Facilities. 2020 Aug 1;34(4):04020051.
- [27]. Guerrero H, Teran-Gilmore A, Zamora E, Escobar JA, Gómez R. "Hybrid Simulation Tests of a Soft Storey Frame Building Upgraded with a Buckling-Restrained Brace (BRB)". EXPERIMENTAL TECHNIQUES. 2020 May 18.
- [28]. Panjiyar R, Ghowsi AF, Sahoo DR. "Numerical study on effect of stiffeners on the Gusset-plates using buckling restrained braced frame", Materials Today: Proceedings. 2020 Jun 4.
- [29]. Xu Y, Guan H, Karampour H, Loo YC, Zhou X. "Experimental Study of a Prefabricated Steel Frame System with Buckling-Restrained Braces", InEASEC16 2021 (pp. 1479-1489). Springer, Singapore.