مجله علمی – پژوهشی مهندسی عمران مدرس دوره بیست و دوم، شماره ۲، سال۱۹۰۱



# امکان سنجی استفاده از روش زمان-دوام برای ارزیابی لرزهای سیستمهای مرکزگرای قاب مهاربندی مجهز به ستون کمانشتاب (SC-BRC-BF)

محمدجواد ابراهیمی مجومرد<sup>ر</sup>، اسماعیل محمدی دهچشمه<sup>۲</sup>، وحید بروجردیان<sup>۳\*</sup>

۱. کارشناسی ارشد مهندسی عمران – سازه، دانشگاه علم وصنعت ایران
 ۲. دانشجوی دکتری مهندسی عمران – زلزله، دانشگاه علم و صنعت ایران
 ۳. استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

#### \*broujerdian@iust.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۳/۹ تاریخ پذیرش:۱٤۰۰/۱۲/۳

### چکیدہ

سیستمهای قاب مهاربندی معمولی ظرفیت جابهجایی محدودی را قبل از کمانش تحت بارهای لرزهای از خود نشان می دهند و آسیبهای ایجادشده در آنها، منجر به کاهش مقاومت و سختی می شود. به منظور ارتقاء رفتار این سیستمها، قابهای مهاربندی مرکزگرا مجهز به ستون کمانش تاب (SC-BRC-BF) توسعه یافتهاند. این سیستمها علاوه بر افزایش ظرفیت جابهجایی، باعث کاهش آسیب و جابهجایی پسماند در سیستم می شوند. سیستم BRC-BR شامل دو هسته الاستیک است که در حدفاصل طبقات توسط ستونهای کمانش تاب (BRC) به یکدیگر متصل شدهاند. BRC شامل دو هسته الاستیک است که در حدفاصل ورودی و به منظور کاهش پاسخ لرزهای در این سیستمها استفاده می شوند. برای ایجاد سازوکار بازگردانندگی در سیستم، از کابل پیش تنیده قائم استفاده می شود. در این مقاله، سیستمهای SC-BRC-BF دارای ۲، ۲ و هطبقه در نرمافزار SAP2000 طراحی پیش تنیده قائم استفاده می شود. در این مقاله، سیستمهای SC-BRC-BF دارای ۳، ۲ و هطبقه در نرمافزار SAP2000 طراحی زمان –دوام، عملکرد لرزهای سازها در مواردی همچون ۱) جابهجایی بام ۲) بیشینه کرنش اعضای غیرخطی متداول و روش زمان –دوام، عملکرد لرزهای سازها در مواردی همچون ۱) جابهجایی بام ۲) بیشینه کرنش اعضای غیر خطی متداول و روش به مقاله نشان داد روش تحلیل زمان –دوام در مقایسه با روش متداول تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی متداول و روش ناین مقاله نشان داد روش تحلیل زمان –دوام در مقایسه با روش متداول تحلیل تاریخچه زمانی می نواز گرفت. نتایج این مقاله نشان داد روش تحلیل زمان –دوام در مقایسه با روش متداول تحلیل تاریخچه زمانی، دارای سرعت و دقت مناسبی نمی شود. بر اساس نتایج به دست آمده از ارزیابی عملکرد لرزهای با ۱۰ درصد و در سطح بیشترین زلزله محتمل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نمی شود. بر اساس نتایج به دست آمده، در سطح زلزله طرح از ۱۰ درصد و در سطح بیشترین زلزله محتمل از ۱۵ درصد بیشتر

**واژگان کلیدی**: روش زمان-دوام، سیستم مرکزگرا، تحلیل دینامیکی غیرخطی، جابهجایی پسماند، ستون کمانش تاب.

### مقدمه

رخداد زمینلرزههای شدید باعث ایجاد خسارتهای سنگین و همچنین وقوع تغییرمکان پسماند در سازه می شود. خسارتهای ناشی از تغییر مکان نسبی ماندگار به شکلی است که فروریزش اتفاق نمیافتد ولی بازسازی و رفع خسارت غیرممکن و یا غیراقتصادی است. معمولاً پس از زلزله طرح، گزینه پیش روی سازههای متعارف، به دلیل خسارت و تغییر مکان نسبی ماندگار زیاد، بهجای تعمیر و بازسازی، تخریب و نوسازی است. در واقع میزان تغییر شــکلهای ماندگار پس از وقوع زلزله عامل اساسی برای ارزیابی عملکرد سازهها است. به منظور حذف تغییر شکلهای ماندگار، در دو دهه گذشته سیستمهایی که در اصلاح مرکزگرا نامیده میشوند، توسعهیافته و مورد استفاده قرار گرفتهاند. در سیستمهای مرکزگرا سازه دچار خسارت و تغییر شکل ماندگار کمی شده درحالی که مقاومت و سختی سیستمهای باربرجانبی مرسوم را دارد. مهمترین ویژگیهای اصلي سيستم مركز گراي مورد نظر در اين مطالعه عبارت استاز :[1]

- یکی از مؤلفه های اصلی این سیستم، وجود درز و سازوکار بازشدگی است.
- ۲. المان های خاصبی برای استهلاک انرژی در محل درزها استفاده می شود که معمولاً قابلیت تعویض دارند.
- ۳. المان های پیشتنیده باید در هنگام بار گذاری جانبی به صورت الاستیک باقی بمانند تا بتوانند تغییرمکان های پسماند را کاهش دهند.
- دمودار بار جانبی در مقابل تغییر مکان سیستمهای مرکزگرا به صورت پرچمی شکل است.

قاب های مهاربندی هممرکز(CBF۱) تحت بار های جانبی از ظرفیت جابهجایی پایین پیش از وقوع آسیب در سازه برخوردار ه ستند. در این سی ستمها وقوع شکست از نوع طبقه نرم نیز محتمل است [2]. برای حفظ سختی و شکل پذیری سازههای مهاربندی، می توان از قاب مهاربندی کمانش تاب (BRB۲)

ا ستفاده کرد. ا ستفاده از سیستم BRB، باعث افزایش ضریب رفتار سازه نیز می شود [3]. با این حال، سیستمهای BRB، جابهجایی پسماند قابل توجهی را بعد از زلزله از خود نشان می دهند [4].

برای جلو گیری ایجاد طبقه نرم در سازههای سیستمهای CBF، سیستم strongback توسعهیافته است. قابهای تایشده مهاربندی واگرا (۳TBF) مطابق شکل (۱-الف) بر اساس سیستم EBF؛ معمولی تو سعهیافته است [5]. در این سازهها، ستونهای عمودی (تای) اا رفتار الا ستیک برای اتصال پیوندهای شکل پذیر طبقههای مجاور به یکدیگر اضافه می شـوند. بنابراین، اتصـالات، سـتونها، تیرهای غیر از پیوند و مهاربند در طول ارتفاع ساختمان، الاستیک میمانند تا سازوکار فروپا شی کامل رخ ندهد [6]. سیستم TBF معمولاً از دو هسته الاستیک با قطعات جاذب انرژی به یکدیگر متصل می شوند و در پایه این هسته ها با توجه به اتصال مفصلی به زمین، حول نقاط اتصال دوران مىنمايند. نتايج تحليل تاريخچه زمانى نشاندهنده رفتار رضایتبخش و پایدار لرزهای و بدون فروپاشی در این سیستمها است [5]. سیستم Strongback مجهز به فیوز، نمونه دیگری از این نوع سازهها است که در شکل (۱-ب) نشان دادهشده است. در این سازه علاوه بر فیوز بین دو هسته، مهاربند كمانش تاب نيز بهعنوان سيستم جذب انرژى ا ستفاده شده است [7]. در نمونهای دیگر مشابه سیستم TBF برای عدم ایجاد طبقه نرم در ســازه با هســتهی بتنی از میراگر ويسكوز مشابه شكل (۱- ج) استفاده شده است. ايجاد تغيير شـــکل های بزرگ در محل میراگر ها باعث افزایش بهرهوری ميراگر در سازه مي شود [8].

سازههای معرفی شده در بالا دارای یک ایراد اساسی شامل جابهجایی پسماند بعد از تغییرشکل جانبی هستند. لگزیان و همکاران [9] با استفاده از هسته strongback در ترکیب با میراگر ویسکوز و فنرهای پیش فشرده به سیستم سازههای مشابه شکل (۱- د) دستیافته که کاملاً مرکزگرا بوده درعین حال از جذب

<sup>1.</sup>Concentric Braced Frame

<sup>2.</sup> Buckling Restrained Brace

<sup>3.</sup> Tied eccentrically Braced Frames

<sup>4.</sup>Eccentric Braced Frame 5.Tie

انرژی مناسبی نیز برخوردار است. این سیستم سازه را در مود اول خود نگاه میدارد. همچنین تغییرشکلهای زیاد در محل میراگر باعث افزایش بهرهوری آن نیز شده است. این سیستم با توجه به جزئیات دشوار اجرای میراگر ویسکوز مرکزگرا، از نظر اقتصادی، مقرون بهصرفه نیست.

**شکل ۱**. سیستمهای پیشنهادی برای جلوگیری از وقوع طبقه نرم: (الف) قابهای Strongback تایشده مهاربندی واگرا (TBF) [5], (ب) سیستم فیوز شده Strongback [7]، (ج) سیستم دیوار بتنی Strongback مجهز به میراگر ویسکوز [8] و (د) قاب مهاربندی Strongback مجهز به میراگر مرکزگرا [9]



**Fig. 1.** Strongback systems proposed to prevent soft-story mechanism; (a) TBF[5], (b) Fused Strongback [7], (c) Tani vibration-controlled structure [8], and (d) Legzian rocking core [9].

سیستمهای مهاربندی مرکزگرا که ظرفیت جابهجایی بیشتر و جابهجایی پسماند کمتری نسبت به مهاربندی متعارف دارند، به تازگی توسعهیافته و مورد مطالعه قرار گرفتهاند. یکی از این سیستمها، قاب مهاربندی هممرکز مرکزگرا (CBF – CS۲) است که به صورت شماتیک در شکل (۲) نشان داده شده است. این سیستم، بار جانبی را با چرخش صلب هسته (حرکت گهوارهای) تحمل میکند. همانگونه که در شکل (۲ – الف) نشان داده شده است، در سیستم CBF - CBF ستونهای پیرامونی هسته گهوارهای بار ثقلی را منتقل میکنند، به گونهای که قاب گهوارهای در انتقال آن نقشی ندارد. اصطکاک در تکیهگاههای

بار جانبی بین سیستم ثقلی و هسته SC - CBF در هر طبقه، انرژی را در سیستم تلف میکند. کابلهای پیشتنیده که به صورت عمودی اجرا میشوند، برای تأمین نیروی بازگردانندگی در سیستم مورد استفاده قرار میگیرند [2].

مطابق شکل (۲-ب) در بعضی از پژوهش ها جاذب انرژی در پایه گهوارهای در محل بازشدگی استفاده می شود [10 و 11]. در این نوع هسته گهوارهای، با توجه به این که دیافراگم طبقات، به طور مستقیم به هسته گهوارهای متصل است، به منظور به حداقل رساندن ناسازگاری جابهجایی مرتبط با بالا آمدن هسته، لازم است در اتصالات بین دیافراگم و قابها مهاربندی در طول نوسان جانبی از جزئیات ویژه استفاده شود. علاوه بر میراگر پروانهای، تحقیقاتی در مورد میراگر وی سکوز و همچنین BRB در پایین هسته انجامشده است [12]. در سیستم پیشنهادی، میراگر های ویسکوز مایع به صورت عمودی در مابین فونداسیون و کف ستون تعبیه شدهاند. نتایج بهدست آمده از مطالعات میز لرزان بیانگر کاهش تقاضای لرزمای در نیروی برکنش پای ستون و برش پایه سیستم پیشنهادی در مقایسه با سازه متعارف متناظر بوده است. همچنین پولینو و برونیو[13] به بررسمی تأثیر به کارگیری عملکرد گهوارهای، برای مقاومسازی یک پل خرپایی، از طریق انجام آز مایش میز لرزه روی یک نمونه با مقیاس یک به پنج پرداختند. در نمونه آزمایش شده از میراگرهای کمانش تاب بهعنوان فیوزهای استهلاک انرژی، در پايەھاي پل استفادە شد.

مطابق شکل (۲- پ) سیستم مقاوم بار جانبی، متشکل از قاب های فولادی کوپل شده با کابل های پیش تنیده به زمین متصل شده است [14]. در این طراحی از جزئیات ویژه در اتصالات بین دیافراگم و قاب ها مهاربندی استفاده شود. علاوه بر میراگر اشاره شده، میراگرهای متفاوتی در پژوهش هایی مورد بررسی قرارگرفته است از جمله میراگر U شکل [15] و همچنین فیوز پروانهای [16] مورد ارزیابی قرار دادهاند.

سیستمهای معرفی شده پیشین مشکل بلند شدگی دیوار و صدمات نا شی از آن منجر به آ سیبپذیری دیافراگم می شود.

<sup>1.</sup> Self-Centering concentrically braced frame

مجله علمی – پژوهشی مهندسی عمران مدرس

دوره بیست و دوم/ شماره ۲/ سال ۱٤۰۱

بااين حال، اين امر نيازمند جزئيات پيچيده است [20]. هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی لرزهای سیستمهای مرکزگرای قاب مهاربندی مجهز به سیتون کمانش تاب (-SC rBRC-BF) است. این سازه گهوارهای مرکز گرا نوعی جدید از سیستم های لرزهبر جانبی محسوب می شوند که بعد از وقوع زلزله در این سیسیتمها، آسیب و تغییرشکل ماندگار کمی م شاهده می شود. درحالی که مقاومت و سختی این سیستمها مشابه سیستمهای متداول آییننامهای است. در این سیستمها آ سیب در المان،های تعویض پذیر BRC ا ستفاده می شود. برای ارزیابی سازه ها در کارهای تحقیقاتی، بیشتر از روش های تاریخچه-زمانی استفاده می شود. روش زمان-دوام (٤ET) که یکی از روش های تحلیل دینامیکی تاریخچه-زمانی محسوب می شود. این روش برای تحلیل و طراحی لرزهای سازهها بر اساس عملکرد مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین دارای سرعت و دقت منا سبی میبا شد. در این پژوهش برای ارزیابی لرزهای سازههای موردنظر از روش تحلیل زمان-دوام استفاده می شود. در این پژوهش سعی می شود سه سازه ۳، ۲ و ۹ طبقه دارای سیسیتم SC-BRC-BF در نرمافزار SAP 2000 طراحی شده است. برای شبیه سازی از نرمافزار اجزای محدود OpenSees استفاده شده است. سیس سازهها تحت شتابنگا شتهای لرزهای متداول و روش زمان–دوام مورد ارزیابی قرار گرفته است.

# روش تحقيق

هدف از این پژوهش، ارزیابی لرزهای سیستم SC-BRC-BF به روش زمان-دوام است و انتخاب طرح بهینه موضوعی است که در تحقیقات آینده به آن خواهیم پرداخت و از حوصله این مقاله خارج است. لذا برای طراحی اولیه سیستم SC-BRC-BF و تعیین م شخ صات کابل و جاذبهای انرژی از تحقیقات Roke، استفاده شده است [4]. طراحی هسته با استفاده از نرمافزار اجزا محدود SAP 2000 مررد تحلیل تاریخچه زمانی و روش زمان-دوام قرار بهتازگی یک سیستم گهوارهای (SC - SC) برای ایجاد ظرفیت جابه جایی قابل تو جه درعین حال محدود کردن آسییب و جابه جایی پسیاند توسعهیافته است (شکل ۲-د). در این سیستم، جاذبهای انرژی در تکیهگاههای جانبی که نیروهای اینر سی را از دیافراگم کف به سیستم SC - SC منتقل میکنند، استفاده می شود. کابلهای پیش تنیده عمودی مقاومت خم شی اضافی را فراهم میکنند و به کاهش جابه جایی باقیمانده کمک میکنند [2]. در ادامه تو سعهی این سیستمها در پژوهش دیگر [4] به برر سی این سیستمها با بهکارگیری BRC به عنوان جاذب انرژی در دو طرف هسته در پایهی این سیستم بهره گرفته شده است.

شکل ۲. سیستمهای مرکزگرا برای جلوگیری از وقوع طبقه نرم: (الف) قاب مهاربندی هممحور مرکزگرا (CBF – SC) [17]، (ب) سیستم گهوارهای مرکزگرا با فیوز پروانهای در پایه [11]، (ج) قابهای فولادی کوپل شده [14] و (د) قاب گهوارهای مرکزگرا [2]



**Fig. 2.** Self-Centering systems proposed to prevent soft-story mechanism; (a) SC - CBF) [17], (b) CRSBF [11], (c) PRESSS coupled walls [14], and (d) FDBF[2].

بااینحال، حرکات گهوارهای در این سیستمها، منجر به بلند شدگی یک ستون از فونداسیون می شود، و این باعث تشدید پاسخ مدهای بالاتر سازهای و به دنبال آن افزایش نیروی وارد بر عضو می شود، این اثر بیشتر روی سازههای بلندتر مشخص می شود [18 و 19]. کاهش در پا سخ مد بالا را می توان با ایجاد رفتار گهوارهای چندگانه در ارتفاع سازه ایجاد کرد.

<sup>1.</sup> Self-Centering Rocking Core

<sup>3</sup> Buckling Restrained Column

<sup>4.</sup>Endurance Time

<sup>2.</sup>Self-Centering Buckling Resistance Column Braced Frame

پیش تنیدگی در قسمتهای قبل می توان هسته را تحت نیرو احتمالی (یا مقاومت مورد انتظار) نا شی از تسلیم کابل و BRC قرار داده و سپس بار متعادل کننده مثلثی به گونهای محاسبه شود که تعادل سازه حفظ شود. حال برای تعیین مجموعه بار I با استفاده از نرمافزار SAP2000 [22] ، می توان ابتدا تکیه گاههای BRCs می توان ابتدا تکیه گاههای جانبی دارای سختی کم در هر طبقه ایجاد شده و سپس BRCs و کابلهای TT موجود در سازه را حذف کرده و با مقادیر نیرو احتمالی (مقاومت مورد انتظار) جایگزین شود. سپس تحلیل سازه انجام شده و نیروهای مثلثی جانبی در طبقات باید طوری تعیین شود که عکس العمل ایجادشده ناشی از نیروهای BRCs و کا بل و بار ثقلی را خنثی کند درنها یت عکس الع مل های تعیین شده فنرها می توانند به عنوان نیروی جانبی برای مجموعه بار I در نظر گرفته شود (شکل ۳).

**شکل ۳.** محاسبه مجموعه بار: (الف) اعمال بارها و (ب) عکسالعمل های گرهی و محاسبه بار معکوس مثلثی



**Fig. 3.** Calculation of the set I member forces for frames assuming an inverted triangular lateral load pattern; (a) applied loads, and (b) nodal reaction and inverted triangular lateral load

### II-۱-۱- مجموعه بار II

نیروهای مجموعه II (*r<sub>II</sub>*) از تجزیه و تحلیل طیف پاسیخ مودال انجام شده با مدل عددی که سیختی BRCs هایش کاهش یافته است، به دست می آید. برای حذف پاسیخ مود اول در تحلیل مودال، طیف طراحی برای زمان تناوب های طولانی تر از دوره تناوب غیرقابل ارتجاعی مود دوم (T2,∞)، کوتاه شده است به گونهای که مقدار شیتاب طیفی مورد اسیتفاده در تحلیل سازه برای T2 <T، به صفر کاهش می یابد. نیروها برای مجموعه دوم را می توان با استفاده از قاعده ترکیب SRSS به دست آورد. اتصال اعضای تیر، سیتون و تای و هم چنین اعضای مورب مهاربندی به صورت دو انتها گیردار، مدل سازی شد. مدل سازی مي گيرند.

# طراحی هسته مهاربندی Strongback

از آنجا که هسته به طور جانبی در طول حرکات رفت و برگشتی، تغییر شکل می دهد، پاسخ جانبی ناشی از مودهای بالا نیز به د لیل و جود دیا فراگم کف افقی موجود در ار تفاع و انعطاف پذیری هسته ایجاد می شود. این پا سخ دینامیکی ا سا سا توسط سختی خمشی و برشی هسته کنترل می شود، زیرا سختی BRCs با تسلیم به مقدار کمی کاهش می یابد. این فرض ا ساس روش تحلیلی ارائه شده در این بخش برای پیش بینی نیروهای طراحی ناشی از مودهای بالا در اعضای هسته می باشد. این روش شامل یک روش برهم نهی مودال است که در آن سهم مودهای منفرد در هر میزان پاسخ مانند نیروهای اعضا هسته برای به دست آوردن پاسخ کلی یا تقاضای نیرو (r) به صورت زیر خلاصه می شود [21]:

$$r(t) = \sum_{n=1}^{N} r_n(t) \tag{1}$$

بنابراین روش تحلیل، شامل ترکیب تقاضای نیرو از تسلیم BRCها و کابلهای PT در مود اول با نیروهای اضافی نا شی از پاسخ دینامیکی در مود های غیر الاستیک دوم و بالاتر است. برای این دو نیرو در سیستم، دو مجموعه نیرو به ترتیب *r* و برای این دو نیرو در سیستم، دو مجموعه نیرو به ترتیب *r* و محافظه کارانه از بیشترین مقدار مورد انتظار (t) مورد نیاز است و می توان از ترکیب قدر مطلقی ساده برای دستیابی به مقادیر طراحی استفاده کرد:

 $|r(t)|_{max} = |r_I(t)|_{max} + |r_{II}(t)|_{max}$ (Y)

I - 1 - 1 - 1 - 1 مجموعه بار

مجموعه I (*r<sub>I</sub>*) را می توان از تحلیل استاتیک به دست آورد که تمام BRCs و کابل ها به مقاومت سخت شده احتمالی (یا مقاومت مورد انتظار) خود رسیده باشند. سپس بار مثلثی که باعث تسلیم سیستم شده است را با انجام محاسبات دستی یا نرمافزاری محاسبه نمود.

در این مرحله، برای تعیین مجموعه بار I به صورت محا سبات دستی، با توجه به تعیین مساحت کابل PT به BRCs و همچنین دوره بیست و دوم / شماره ۲/ سال ۱٤۰۱

مورب مهاربندی و هم چنین برای اعضای کا بل به ۲۰۰ گیگاپا سگال و ۱۰۸۱ مگاپا سگال در نظر گرفته شد. با توجه به قانون هوگ، کرنش تسلیم در اعضای سازهای حدوداً برابر با ۰/۰۰۱۸ است.

شکل ۴. سازههای مورد بررسی در این مطالعه به همراه پلان: الف) پلان سازه و (ب) نمای سازه



**Fig. 4.** Prototype building used for the parametric study; (a) typical floor plan, and (b) elevation به منظور مدلسازی اعضای تیر، ستون و تای و همچنین اعضای مورب مهاربندی در نرمافزار OpenSees از المان و مصالح Steel02 استفاده شده است. همچنین کا بل ها با است فاده از المان Truss و مصالح ElasticPPGap و اع مال پیش تنیدگی با بکارگیری مصالح BRCها از المان Steel02 با مصالح Steel02، استفاده شد.

زمان تناوب سازههای ۳، ۳ و ۹ طبقه در نرمافزار طراحی SAP 2000 به ترتیب برابر ۰/٦۱، ۱/٤٦ و ۲/۱۱ ثانیه و در نرمافزار شبیه سازی OpenSees به ترتیب برابر ۰/۵۷۹، ۱/٤٤ و ۲۰۰۶ به دست آمد.

، مورد بررسی	سازەھاي	اعضای	. مشخصات	ل ۱	جدوا
--------------	---------	-------	----------	-----	------

St.	story	columns	beams	braces	ties
3	1	W12X53	W12X26	W12X58	-
	2-3	W12X53	W12X26	W12X58	W12X53
6	1	W144X68	W12X22	W14X61	-

این اعضا به صورت الاستیک و با استفاده از المانهای فریم ا لحاظ شده است. ضریب رفتار مورد استفاده برای طراحی مطابق تحقیق [2] برابر با مقدار ۸ در نظر گرفته شد. مدل سازی اعضای کابل، با المان Cable با پیش تنیدگی مشخص انجام شده ا ست. مدل سازی اعضای BRCها با المان فریم به صورت دو انتهای مفصلی، انجام شده است.

## سازدهای مورد بررسی

سازه های در نظر گرفته شده، شامل سه سازه ۳، ۲ و ۹ طبقه است که روی خاک نوع C مطابق آیین نامه ASCE7 [23] در منطقه لس آنجلس قرار گرفته است. در تمامی سازه ها، ارتفاع طبقه اول ٤/٥٧٦ متر و سایر طبقات ٣/٦٦ متر است و عرض دهانه ها ۲ متر و دهانه های دارای هسته گهواره ای ٥/٦ متر است. در د ها نه های دارای هست ته ی گهواره ای ٥/٦ متر است. قرار گیری BRCها در میان هستهها، ٥/٠ متر بزر گتر در نظر گرفته شده اند. در هر امتداد، در چهار محور و در هر محور سه سیستم SC-BRC-BF مطابق شکل (٤-الف) استفاده شده است. تعداد طبقات مورد بررسی سازه ها SC-BRC-BF، شامل ۳، ۲ و P طبقه است (شکل ٤-ب).

بارهای مرده شامل؛ دال کف بتنی، عرشه کف فولادی، تجهیزات مکانیکی، نازککاری کف و وزن تقریبی هر مترمربع اسکلت سازه برآورد شده است. بارهای مرده کف سازه برای طراحی به ترتیب ۲/۱۵، ۲/۱۶ و ۲/۱۵ کیلو پاسکال برای طبقه اول، طبقات میانی و طبقه بام می باشد. جرم موثر لرزهای برای هر قاب مرکز گرا، ۱۲۵٦، ۱۲۵۰ و ۲۲۷ تن به ترتیب برای طبقه اول، طبقات میانی و طبقه بام می باشد. بار زنده و پارتیشن بندی کف سازه در طبقات اول و میانی، بار زنده پشت بام به ترتیب برابر با سازه در طبقات اول و میانی، بار زنده پشت بام به ترتیب برابر با است که پلان سازه مذکور مطابق مرجع [2] انتخاب شد. مقاطع اعضای سازهای به دست آمده و کابل ها در جدول (۱ و ۲) نشان داده شده است.

مدول الاستیک و تنش تسلیم به ترتیب برابر با ۲۰۰ گیگاپاسگال و ۳٤٤ مگاپاسـگال برای اعضـای تیر، سـتون، تای و اعضـای

### امکان سنجی استفاده از روش زمان–دوام برای ارزیابی لرزهای..

	2-3	W144X68	W12X22	W14X61	W14X48
	4-6	W14X34	W12X22	W14X34	W14X48
	1	W27X129	W12X22	W14X61	-
9	2-3	W27X129	W12X22	W14X61	W24X68
-	4-6	W14X61	W18X26	W12X40	W18X65
	7-9	W10X33	W10X22	W10X33	W10X39
	T-1-1	1 The mean		f - t t	_

Table 1. The member sections of strutures

جدول ۲. مشخصات BRCها و کابل ها

St.	story	BRC (cm <sup>2</sup> )	tendons (MPa)	Pre-stressing (MPa)	yielding stress (MPa)
3	1 2-3	- 7.86	15.88	324	1080
6	1 2-6	- 4.03	15.37	324	1080
9	1 2-9	- 3.34	26.16	324	1080
	T.11.	<b>3</b> T1	· ·	C 11 1D	DC

Table 2. The properties of cables and BRCs

به منظور برر سی سطوح عملکردی سازههای مورد برر سی در وب سایت geogebra.org سعی شده است که سازههای مورد بررسی مدلسازی شود و سیس مقادیر جابهجایی نسبی عملکردی آنها مورد بررسی و مطابق جدول (۳) نامگذاری شود. در این پژوهش برای طراحی سازه جابهجایی نسبی ۱ در صد به عنوان سطح زلزله طرح (DBE) و جابهجایی نسبی ۱/۵ در صد سطح خطر بیشترین زلزله محتمل (۲MCE) در نظر گرفته شــده اســت. هم چنین لازم به ذکر اســت که این روش تعیین سطوح عملکردی برای سازههای مرکز گرا در تحقیق [24]، مورد توجه قرار گرفته است.

جدول ۳. سطوح عملکردی سازههای مورد بررسی به منظور طراحی

Performance level	BRC yield	BRC yield	BRC yield PT yield	BRC yield PT yield BRC failure
Hazard intensity	DBE	DBE-MCE	MCE	>MCE
Drift ratio	1%	1% - 1.5%	1.50%	2%-2.5%
Table 3 The	e nerforman	ce level of St	ructures stud	ied for design

# ویژگیهای شــتابنگاشــتهای لرزهای برای تحلیل تاريخچه زماني

طبق ض\_وابط أيين نامه ASCE 41 [25] براي تحليل تاريخچه زمانی باید حداقل از ۳ سری شتابنگا شت برای تحلیل سازه استفاده شود. این شتابنگاشتها باید به گونهای انتخاب شوند که به لحاظ ویژگیهای زمین شناسی، تکتونیکی، لرزه شناسی و به ویژه م شخ صات لایه های خاک تا حد امکان م شابه شرایط ساختگاه موردنظر باشند. درصورتی که از تعداد ۷ سری

پاسے متوسط آنہا در بازہ 0.27 تا 1.51 برابر با طیف پاسے شتاب آیین نامه در آن سطح خطر باشد (که T زمان تناوب سازه ا ست). برای سطح خطر MCE از ضریب بزرگنمایی ۱/۵ روی شتابنگاشتهای مقیاس شده مرحله قبل استفاده می شود [23].

پس از اعمال ضرایب استکانچی، شتابنگاشتها بایستی در

# روش زمان-دوام ( Endurance Time (Method

روش زمان-دوام، روشیی جدید برای تحلیل و طراحی

### محمدجواد ابراهیمی مجومرد و همکاران

شتاب نگا شت با بیشتر استفاده شود می توان از مقادیر میانگین پا سخ سازه ا ستفاده کرد. در غیر این صورت بی شترین پا سخ سازه بايد لحاظ شود [25]. در جدول (٤) مشخصات شتابنگاشتهای مجموعه GM اقتباس شده از آیین نامه FEMA440 و ضرایب مقیاس استفاده شده ( ضرایب ا ستکانچی) در سطح DBE آورده شده ا ست [26]. این مجموعه رکورد انتخابی، از نوع شـتابنگاشـتهای دور از گسل است[26]. جدول ٤. ویژگی های ۷ شتابنگاشت مورد بررسی و ضرایب مقیاس

استکانچی مانند سطح DBE

PEER NO.	earthquake	year	station	component (degree)	Magnitude	PGA (g)	scale factor
57383	Morgan Hill	1984	Gilroy Array #6	90	6.19	0.2814	1.8360
1552	Loma Prieta	1989	Anderson Dam (Downstream)	250	6.93	0.2385	2.6092
47006	Loma Prieta	1989	Gilroy - Gavilan Coll.	67	6.93	0.3341	2.2040
58065	Loma Prieta	1989	Saratoga - Aloha Ave	0	6.93	0.3821	1.4370
58135	Loma Prieta	1989	UCSC Lick Observatory	360	6.93	0.4568	2.2890
12149	Landers	1992	Desert Hot Springs	0	7.28	0.1407	3.6378
24278	Northridge -01	1994	Castaic - Old Ridge Route	360	6.69	0.4898	1.0730

Table 4. The ground motion characteristics and Stekanchi DBE level scale factor

شتابنگا شتها بدون در نظر گرفتن سطح خطر به گونهای مقیاس شدند که سطح زیر طیف شبه شتاب آن ها با سطح زیر طیف آییننامه طراحی برابر با شد. بازه پریودی برای این مقیاس از ۲ تا ۵ ثانیه است. هدف از انجام این مقیاس و تعیین ضرایب استکانچی این است که طیف هر یک از شتابنگاشتها تا حد امكان به طيف آييننامه نزديك با شد [26] زيرا تحليل غيرخطي به شدت و بزرگی زلزله حساس است.

<sup>1.</sup> Design Base Earthquake

مجله علمی – پژوهشی مهندسی عمران مدرس

نمودار بیانگر تقا ضای زلزله با دوره بازگ شت معادل هر زمان-دوام از سازه است. شکل (۵) چگونگی ترسیم نمودارهای فزاینده روش زمان-دوام را برای یک سازه 7 طبقه نشان میدهد. در این شکل بیشترین جابهجایی بام به دست آمده است. منحنی هموار شده بهدستآمده را میتوان منحنی عملکرد سازه در نظر گرفت[29].

دوره بیست و دوم/ شماره ۲/ سال ۱٤۰۱

**شکل ۵**. محاسبه منحنی عملکرد روش زمان-دوام: (الف) توابع روش زمان-دوام و (ب) منحنی روش زمان-دوام ۱۰۰٬۱۰۰



**Fig. 5.** Calculation of performance curve of endurance time method; (a) functions of endurance time method, and (b) endurance time method curve

**۳–۱–۱- ویژگی های شتابنگاشت های مورد استفاده در** روش زمان-دوام برای تخمین پاسخ غیرخطی زلزله های واقعی، توابع شتاب سری زمان-دوام سری en با نام ETA20en01-03 منطبق با متو سط زلزله های واقعی ساخته شدند [26 و 27]. قابلیت توابع شتاب زمان-دوام در پیش بینی رفتار سازه تحت ۷ شتابنگاشت انتخاب شده در پژوهشها و بررسی های قبلی استکانچی و همکاران به اثبات رسیده است [26 و 27].

بر اساس روش مقیاس سازی شتابنگاشتها که در بخش ۲-۳ تشریح شد، این مقیاس سازی برای هر یک از سازههای مورد بررسی بر اساس زمان تناوب اصلی سازه انجام شده است. ضرایب مقیاس تعیین شده در جدول (۵) آمده است. لازم به ذکر است که ضرایب تعیین شده برای شتابنگاشتهای زلزله به ضرایب مقیاس اولیه یا ضرایب استکانچی [37] اعمال می شود. لرزهای سازه ها بر اساس عملکرد است که تو سط استکانچی و همکارانش [27] پیشنهاد شده است. در این روش، سازه تحت شـتابنگاشـتهایی خاص قرار می گیرد که در آن تقاضای دینامیکی سازه با زمان افزایش داده می شود. زمان مورد نیاز تا شاخص خرابی سازه (مانند جابه جایی نسبی بیشینه نسبی طبقات) به حالت حدی عملکرد یا خرابی برسد، به عنوان زمان-دوام سازه تعریف می شود. مزایای اصلی روش زمان -دوام [28] عبارتند از: (۱) روش زمان-دوام با ارائه تخمین مناسب از پاسخ نرمانی، موجب صرفه جویی زیاد در حجم محاسات برای ارزیابی لرزهای می شود. (۲) این روش به علت ماهیت دینامیکی غیرخطی، قابلیت کاربرد را برای انواع سازه ها و انواع و اصول ساده برای کاربردهای مهند سی هست. همچنین برای کارهای آزمایشگاهی با میز لرزان قابلیت بالایی دارد.

پژوهش های مختلف به ارزیابی روش ز مان-دوام در تحلیل لرزهای قابهای فولادی در مقایسه با روش تحلیل استاتیکی [29]، ارزیابی شاخص خسارت در قابهای خمشی فولادی با روش ز مان-دوام [30]، کاربرد روش ز مان-دوام را در تحلیل لرزهای غیرخطی سیستمهای یک درجه آزاد [31]، ارزیابی لرزهای قاب های فولادی با روش ز مان-دوام [32]، ارزیابی نازهای سازههای بنایی غیرمسلح با روش زمان-دوام [33]، شاخصهای مختلف آسیب را برای تعدادی از قابهای خمشی فولادی با استفاده از روش ز مان-دوام [33] و احتمالی لرزهای سازه را با استفاده از روش زمان-دوام [35] و برهمکنش دیوارههای بر شی وقابهای خمشی را با استفاده از روش زمان-دوام [36]، پرداخته شده است.

چگونگی استخراج منحنی های پاسخ – زمان در روش زمان – دوام بدین صورت است: پس از انجام تحلیل مقدار پاسخ مورد نظر مثال بیشترین جابه جایی بام برای هر طبقه در طول زمان به د ست می آید و سپس در هر زمان بیشترین قدر مطلق پا سخ تا آن زمان تعیین می شود. بعد از هموار کردن نمودار به دست آمده به روش حرکت متوسط، نمودار نهایی رسم می شود (شکل ٥-ب). مقدار پاسخ یا شاخص خرابی در هر زمان در این

از طرف دیگر برای توابع شتاب ET نیز می توان با چند سعی و خطا زمان متناظر با هر سطح خطر به گونهای که طیف مربوط به آن در بازه 0.2T تا 1.5T برابر با سطح طیف آیین نامه قرار گیرد را تعیین کرد. به این ترتیب، زمان های هدف دوام مانند شتابنگاشتهای en01، en01 و en03 در جدول (٥) نمایش داده شده است.

جدول ۵. زمان هدف و ضرایب مقیاس سازههای مورد بررسی

		ta	scale		
St.	level	ETA20 en01	ETA20 en02	ETA20 en03	factor
2	DBE	7.45	7.57	6.82	0.7162
3	MCE	10.40	10.53	11.28	1.0455
6	DBE	8.46	8.37	7.57	0.8049
0	MCE	11.28	11.41	11.87	1.1433
0	DBE	8.92	9.19	8.32	0.9063
9	MCE	12.78	13.15	14.19	1.2752

 Table 3. Target time and scale factor of the studied structures

مدلسازی عددی به منظور طراحی هسته گهوارهای، سازه معرفی شده در بخش ۲۰۲۰ ما مشششات که نشان داده شده در شکار (1) در نماندا

۲-۲ با روش شماتیک نشان داده شده در شکل (٦) در نرمافزار SAP2000 مدلسازی شدند. این مدل سازی شامل اعضای اصلی سازه به همراه ستون متکی ا ست. بارگذاری قابهای ثقلی بر روی ستون متکی قرار داده شده و مراحل طراحی در دو بخش انجام داده می شود. المانهای ه سته گهوارهای در بخش اول به صورت صلب و در بخش دوم به صورت الاستیک و مقاطع واقعی مدلسازی شدهاند. هسته تیرها و ستونها به صورت گیردار و بادبندها و BRCها بصورت دو سر مفصل مدل شدهاند. شبیهسازیهای دینامیکی غیرخطی با استفاده از OpenSees انجام شد [38]. این مدلها شامل ستونهای متکی برای محاسبه آثار P-Δ قابهای ساده میانی و تخصیص جرم لرزهای است. فرض میرایی رایلی متکی بر میرایی ٥ درصد در نظر گرفته شده است. اجزای اصلی مدل های عددی عبارتند از: کابل های پیش تنیده، ستون های کمانش تاب، اعضای هسته SC-BRC-BF (تیرها، بادبند، ستونها و تایها). برای شبیه سازی اعضای BRC از مصالح تک محوری غیرخطی Steel 02، برای کابل های PT از المان Truss دارای مصالح تک محوری ElasticPPGap، و برای اع مال پیش تذیدگی در آن ها از مصالح InitStrainMaterial استفاده شده است.

محمدجواد ابراهیمی مجومرد و همکاران



Fig. 6. The 3 Story SC-BRC-BF with lean-on column شاخص DCF

شاخص تمرکز تغییر شکل یا DCF، شاخصی است که میزان جابه جایی نسبی بین طبقهای را کمی میکند و از رابطه زیر محاسبه میشود.

$$DCF = \frac{\max(\frac{u_i}{h_i})}{\frac{\Delta r}{H}}$$
1

در رابطه فوق  $d_i$  و  $h_i$  ه ترتیب جابهجایی نسبی بین طبقهای و ارتفاع طبقه i ام و Δr و H نیز به ترتیب بیشترین جابهجایی بام و ارتفاع سازه است. اگر DCF برابر با یک باشد، بر توزیع یکنواخت جابهجایی نسبی بین طبقهای دلالت دارد (جابه جایی طبقات نسبت خطی با ارتفاع آن دارد) هر چه مقدار آن از ۱ فا صله بگیرد احتمال وقوع تمرکز جابهجایی نسبی بین طبقهای در سازه بیشتر و نیز میتواند منجر به ایجاد طبقه نرم شود.

درستی آزمایی فر آیند مدل عددی

مشخصات BRCهای مورد درستی آزمایی در این تحقیق بر اساس تولیدات شرکت Altin Yole [39] با طول ۲متر و طول ناحیه تسلیم ۱ متر است [40]. مطابق تولیدات این کارخانه برای جلوگیری از کمانش هسته جاری شونده، بتن در اطراف هسته ا ستفاده شده است و مابین بتن و هسته از موادی برای کاهش ا صطکاک بین این سطوح استفاده شده است. نتایج آزمایشها نشان می دهد کارایی BRBهای این شرکت فراتر از لزوم AISC نشان می دهد کارایی BRBهای این شرکت فراتر از لزوم 141 ست و به طوری که تغییر شکل ها تا ۲۲ برابر کرنش نقطه تسلیم در طول مدت چرخههای بارگذاری سیکلیک رفتاری پایدار ارائه داده اند.

مدل سازی عضو BRC در نرمافزار OpenSEES، با ا ستفاده

<sup>1.</sup> deformation concentration factor

سازه در هفت شـتابنگاشـت زلزله و همچنین توابع شـتاب زمان-دوام برای سازه ۳ و ٦ و ۹ طبقه مورد ارزیابی قرار است. شکل (۸) کرنشهای بادبند تحت زلزله DBE را نشان میدهد. این شکل شامل سه قسمت مربوط به سازه ۳، ۶ و ۹ طبقه است و در هر قسمت نمودارهای سمت راست محور قائم مربوط به کرنش المانهای هسته راست در ارتفاع است و همینطور برای نمودارهاي سمت چپ کرنش المانهاي هسته سمت چپ نشان داده شده است. در برر سی کرنش اعضا مشاهده می شود که روش طراحی مورد نظر روش صحیح بوده و اعضای هسته وارد ناحیه غیرخطی نشدهاند. هم چنین با مقایسه نتایج روش متداول آیین نامه ای با روش زمان-دوام م شاهده شده ا ست که روش زمان-دوام تقریب خیلی خوبی از کرنش های اعضای هسته تخمین زده است. اعضای مهاربند در هیچ یک از طبقات کرنش آنها از کرنش تسلیم (۰/۰۰۱۸) فراتر نرفته است. همین طور با بررسی کرنش های ایجاد شده در اعضای تیر، ستون و تای می توان به این مو ضوع پی برد که این اعضا وارد ناحيه غير خطي نمي شوند.

میانگین بیشترین کرنش ایجاد شده در اعضای ستون، تای، تیر و بادبند تحت زلزله DBE شتابنگاشتهای GM برای تمامی سازه ها به ترتیب برابر با ۲۰۰۰٬۰۰، ۲۰۰۰٬۰۰ ۲۰ به ترتیب و ۲۰۰۰۰/۰ و تحت زلزله DBE شتابنگاشتهای ET به ترتیب برابر با ۲۰۰۰٬۹۱ است. همانطور که از مقادیر بیشترین کرنش ها مشاهده می شود، اعضا در سطح DBE، الاستیک باقی می مانند. بیشترین اختلاف روش ET و روش متداول در تخمین کرنش حداکثر اعضا در سطح DBE، برابر با ۲ درصد است.

**شکل ۸** بیشترین کرنش ایجادشده در مقاطع بادبند تحت شتابنگاشتهای سطح DBE: (الف) ۳ طبقه، (ب) ۲ طبقه و (ج) ۹ طبقه مجله علمی – پژوهشی مهندسی عمران مدرس

المان Truss دارای مصالح تک محوری Steel 2 انجام شده است (شکل ۷ الف). بارگذاری مطابق شکل (۷ ب)، در انتهای مهاربند تحت بارگذاری به صورت جابه جایی کنترل سیکلیک قرارگرفته است. نهایتا نمودار شکل (۷ ج) استخراج شده است و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است. شکل ۷. مهاربند BRB درستی آزمایی شده با استفاده از نرم افزار OpenSees

: (الف) جزئيات BRB، (ب) بارگذارى پوش آور و (ج) مقايسه رفتار

هیستریک BRB با نتایج OpenSees (40] (الف) (a) steel HSS shell Stiffer non-Yeilding and end sections concrete fill shown ===  $\odot$ Connection Yielding steel core Engineered gap (<del>\.</del>) (b) Ē 0.04 0.02 -0.02 -0.04 -0.06 Loading Cycles (E) (C) Experimental
 OpenSees analytical model 600000 400000 200000 -400000 -0.02 0 0.02 0.04 0.06 0.08 Brace Deformation (m)

**Fig. 7.** The BRB verified using OpenSees software; (a) details of BRB, (b) push loading, and (c) comparison of BRB hysterical behavior with OpenSees results[40]

به منظور مقایسیه نمودار عددی با نمودار آز مایشیگاهی درستی آزمایی، در این پژوهش به مقایسیه بیشترین نیروی محوری ایجاد شده در BRC و نیز مساحت جذب انرژی BRC پرداخته شده است. درصد خطای بیشترین نیروی محوری حدود کمتر از ٥/٠ درصد و خطای مربوط مساحت جذب انرژی برابر با حدود کمتر از ۱ درصد است. با این مقایسهها می توان به دقت مناسب مدل سازی مهاربندهای BRC، پی برد.

**نتایج مدلسازی و بحث** نتایج طراحی هسته الاستیک برای بررسی رفتار اعضا هسته تحت شتابنگاشتهای زلزله و مقایسه آنها با تخمین روش زمان-دوام، پاسخ کرنشی میانگین بیشترین کرنشها مشاهده می شود، اعضا در سطح MCE، الاستیک باقی می مانند. بیشترین اختلاف روش ET و روش متداول در تخمین کرنش حداکثر اعضا در سطح MCE، برابر با ۲ درصد است.

### جابەجايى بام

همان گونه که در شکل (۱۰) نیز قابل مشاهده است توابع شتاب ز مان-دوام تخمین قابل قبولی از مقدار میانگین بیشترین جابه جایی بام در حالت DBE و همچنین در حالت MCE دارد. با مقایسه این دور روش در تخمین مقادیر میانگین حداکثر جابه جایی بام، بیشترین خطا تقریبی در حالت DBE از ۲٫۶۶ و در حالت MCE از ۱۱٫۹ در صد بیشتر است. مقادیر جابه جایی مجاز طراحی سازه در طراحی برابر با ۱ در صد در سطح DBE و در سطح MCE برابر با ۱/۵ در صد در نظر گرفته شده است. همان گونه که در شکل (۱۰) نشان داده شده است مقادیر میانگین بیشترین جابه جایی بام در این سازه ها کمتر از مقادیر مجاز است. پس از نظر سختی طراحی سازه نیز قابل قبول بوده است.

**شکل ۱۰**. حداکثر جابهجایی بام الف) سطح زلزله DBE ب) سطح زلزله MCE



Fig. 10. The maximum roof drift; (a) DBE level, and (b) MCE level

شاخص DCF در شکل (۱۱) تخمین جابهجایی نسبی سازهها بر اساس دو روش تاریخچه زمانی متداول و روش زمان-دوام نشان داده شده است. با مقایسه میانگین شاخص DCF برای سه سازه ۲، ۲ امکان سنجی استفاده از روش زمان–دوام برای ارزیابی لرزهای...



Fig. 8. The maximum strain in braces section under DBE-level ground motion; (a) 3 Story, (b) 6 Story, and (c) 9 Story برای نشان دادن و ضعیت طراحی سازهها و عملکرد ه سته در مقابل زلزلههای قوی تر (MCE) کرنش اعضای هسته نیز تعیین شده است. شکل (۹) بادبند در سطح MCE را نشان می دهد. همان گونه که نشان داده شده است، در سطح MCE مشابه سطح DBE میانگین کرنش اعضا در دو نوع روش تحلیل وارد ناحیهی غیر خطی نشده است.

شکل ۹. بیشترین کرنش ایجادشده در مقاطع بادبند تحت شتاب نگاشتهای سطح MCE: (الف) ۳ طبقه، (ب) ۲ طبقه و (ج) ۹ طبقه



**Fig. 9.** The maximum strain in braces section under MCElevel ground motion; (a) 3 Story, (b) 6 Story, and (c) 9 Story میانگین بیشترین کرنش ایجاد شده در اعضای تیر، ستون، بادبند و تای تحت زلزله MCE شتابنگا شتهای GM به ترتیب برابر با ۲۰۰۰٬۰۰ ۷٬۰۰۰۹۷ شتابنگا شتهای ET به ترتیب برابر با ۲۰۰۰٬۰۰ MCE شــتابنگاشــتهای ET به ترتیب برابر با ۲۰۰۰٬۰۰ ۷۰۰۰۹۷ میانگونه که از مقادیر

#### دوره بیست و دوم / شماره ۲/ سال ۱٤۰۱

ىجلە علمى – پژوھشى مھندسى عمران مدرس

دانست و عملکرد متناسب با مد اول را در این سیستمها را مشاهده نمود.

**شکل ۱۲**. جابهجایی نسبی بین طبقهای در سطح DBE: ( الف) ۳ طبقه، (ب) ۶ طبقه و (ج) ۹ طبقه



**Fig. 12.** The inter-story drift for DBE level; (a) 3 story, (b) 6 story, and (c) 9 story (ب) شکل ۱۳. جابهجایی نسبی بین طبقهای در سطح MCE: (الف) ۳ طبقه، (ب

٦ طبقه و (ج) ٩ طبقه



Fig. 13 The inter -story drift for MCE level; (a) 3 story, (b) 6 story, and (c) 9 story

جمع بندی و نتیجه گیری در این مطالعه به بررسی کاربرد روش زمان-دوام در تعیین پاسخ سیستمهای مرکزگرای قاب مهاربندی مجهز به ستون کمانش تاب (SC-BRC-BF) پرداخته شده است. مدلهای دو بعدی برای سازههای ۵۳ و ۹ طبقه با استفاده از نرمافزار و ۹ طبقه مشاهده می شود که تخمین روش زمان-دوام قابل قبول بوده است. مقدار خطا در تخمین مقدار شاخص DCF روش زمان-دوام نسبت به روش تاریخچه زمانی به صورت تقریبی در حالت DBE از برابر با ۳ درصد و در حالت MCE برابر با ۳/۵ درصد است.

شكل ۱۱. شاخص DCF : (الف) سطح زلزله DBE و (ب) سطح زلزله MCE





جابه جایی نسبی بین طبقه ای شکل های (۱۲ و ۱۳) جابه جایی نسبی بین طبقه ای سازه های ۳، ٦ و ٩ طبقه طراحي شده را نشان مي دهد. اين ا شكال مويد آن است که توابع شــتاب زمان-دوام تخمین قابل قبولی از مقدار میانگین جابهجایی نسبی بین طبقهای در حالت DBE و همچنین در حالت MCE دارد. مقدار خطا حداكثر تقريبي تخمين جابهجایی نسبی از روش زمان-دوام نسبت به روش تاریخچه زمانی متداول در سطح DBE برای سازههای ۳، ۲ و ۹ طبقه از ٤/٢٤و ١/٧٦ و ٨/٧٧ و در سطح MCE نيز از ١٤/٧ و ٨/٥٩ و ۸/٥١ در صد است. همان گونه که در شکل (۱۳) نشان داده شده است جابهجایی های سازه های مختلف از مقدار مجاز طراحی (۱ درصد) در سطح DBE تجاوز نکرده است. هم چنین در سطح MCE مقادیر جابهجایی سازهها در حدود حد طراحی (۱/۵ درصد) است. با بررسی پروفیل جابهجایی می توان مشاهده کرد در سازههای کوتاهتر سازه کاملا حرکت یکنواخت دا شته است. با افزایش ارتفاع و هم چنین افزایش سطح زلزله مقادیر جابهجایی نسبی بین طبقهای غیر یکنواخت می شود. به صورت کلی می توان این اختلاف عدم یکنواختی بین طبقات را ناچیز محمدجواد ابراهیمی مجومرد و همکاران

توجه بیشتر مهندسان سازه و زلزله قرار گیرد.

مراجع

- [1] F. Shahpouri, "An Investigation on the Seismic Behavior of RC Shear Walls with Self Centering System," Tarbiat Modares University, 2014. (In Persian).
- F. C. Blebo and D. A. Roke, "Seismic-resistant self-centering rocking core system," *Engineering Structures*, vol. 101, pp. 193–204, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.engstruct.2015.07.016.
- [3] M. Naghavi, R. Rahnavard, R. J. Thomas, and M. Malekinejad, "Numerical evaluation of the hysteretic behavior of concentrically braced frames and buckling restrained brace frame systems," *Journal of Building Engineering*, vol. 22, pp. 415–428, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.jobe.2018.12.023.
- [4] F. C. Blebo and D. A. Roke, "Seismic-resistant self-centering rocking core system with buckling restrained columns," *Engineering Structures*, vol. 173, pp. 372–382, 2018.
- [5] L. Chen, "Improving the Seismic Response of Tall Braced Streel Frames with Segmental Elastic Spine," Ecole Polytechnique de Montreal, 2018.
- [6] C. Cheng and C. Hsu, "Seismic behavior of self-centering designed eccentrically braced frames," *iitk.ac.in*, 2012, Accessed: Feb. 27, 2019. [Online]. Available: http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCE E2012 1330.pdf.
- [7] J. Osteraas, J. Hunt, G. Luth, P. S.-S. Convention, and undefined 2017, "Performance Based Seismic Design of the Gigafactory in Tesla Time."
- [8] T. Tani, R. Maseki, I. T.-F. in B. Environment, and undefined 2017, "Innovative seismic response-controlled system with shear wall and concentrated dampers in lower stories," *frontiersin.org*, Accessed: Apr. 27, 2020. [Online]. Available: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fb uil.2017.00057.
- [9] G. Legzian, B. H. Hashemi, and M. Hosseini, "A study on the behavior of structures based on the rocking motion of rigid cores," *Journal of Vibroengineering*, vol. 21, no. 8, pp. 2180– 2195, 2019, doi: 10.21595/jve.2018.18796.
- [10] M. Eatherton, J. Hajjar, X. Ma, H. Krawinkler, and G. Deierlein, "Seismic Design and

عنا صر محدود SAP 2000 طراحی شدند. سیس با استفاده از نرمافزار اجزای محدود OpenSees، روش ز مان-دوام به عنوان روشی نوین در تحلیل دینامیکی برای تخمین پاسخ سازه و تعيين عملكرد أن در سطوح خطر مختلف استفاده شده است. شتابنگاشتهای زلزله و همچنین تابع شتاب زمان-دوام برای هر یک از سازهها، بر اساس طیفهای BSE-1 و BSE-1 از آیین نامه ASCE41-06 مقیاس شدند. به منظور بررسی دقت نتایج روش زمان-دوام، تحلیل دینامیکی با اســـتفاده از یک مجموعه شتابنگاشت ۷ تایی انجام شد. بررسی نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی سازهها تحت ۷ شتابنگاشت زلزله مقیاس شده در سطوح خطر DBE و MCE، نشانگر درستی نتایج تخمین روش زمان-دوام بوده است. به گونهای که این خطای حداکثر ۱) در تخمین جابهجایی بام در سطح DBE از ۳/٤٤ و در سطح MCE از ۱۱/۹درصد، ۲) در تخمین شاخص تمرکز جابهجایی نسبی در حالت DBE از ۳ و در حالت MCE از ۵/۳در صد و ۳) در تخمین جابهجایی نسبی بین طبقهای در سطح DBE از ۸/۷۷ و در حالت MCE از ۱٤/۷ فراتر نرفته است. همچنین مقادیر به دســـت آمده از دو روش برای کرنش ماکزیمم در اعضای هسته نیز از انطباق بالایی برخوردار هستند. به نظر می رسد در طراحی بهینه سازهها بر اساس عملکرد که نیاز به محا سبات و تحلیل های سنگین و مکرر دینامیکی است، روش زمان-دوام که اساسا ماهیتی دینامیکی دارد و قابلیت پیش بینی رفتار سازه در سطوح عملکرد مختلف با حداقل تعداد تحلیل را دارد، می تواند رو شی مناسب با شد. همچنین در این یژوهش از شتابنگاشتهای سری en زمان-دوام استفاده شد که نسبت به ش\_تابنگاش\_تهای سری e بر ای حالت غیر خطی مناس\_ب تر هستند. نتایج نیز نشان دهنده تطابق خوب این شتابنگاشت با تحليل تاريخچه زماني مي باشد.

به طور کلی استفاده از روش زمان-دوام برای ارزیابی لرزهای سیستمهای نوین مرکزگرای قاب مهاربندی مجهز به ستون کمانش تاب (SC-BRC-BF) می تواند با سرعت بسیار خوب تخمین منا سبی از پا سخهای سازه دا شته با شد. هم چنین این روش برای کارهای مهندسی و قضاوت مهندسی می تواند مورد دوره بیست و دوم / شماره ۲/ سال ۱٤۰۱

using multiple rocking sections," in *Journal of Earthquake Engineering*, 2009, vol. 13, no. 1 SUPPL. 1, pp. 83–108, doi: 10.1080/13632460902813315.

- [21] L. Chen, R. Tremblay, L. T.-J. of C. S. Research, and undefined 2019, "Practical seismic design procedure for steel braced frames with segmental elastic spines," *Elsevier*, Accessed: Apr. 27, 2020. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/ pii/S0143974X18308332.
- [22] "CSI. (2017). SAP2000, v19. Computer and Structures, Inc., Berkeley, CA.".
- [23] ASCE, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-10,. American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, VA., 2010.
- [24] N. Rahgozar and N. Rahgozar, "Extension of direct displacement-based design for quantifying higher mode effects on controlled rocking steel cores," *Structural Design of Tall* and Special Buildings, vol. 29, no. 16, p. e1800, Nov. 2020, doi: 10.1002/tal.1800.
- [25] ASCE, Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, ASCE/SEI 41-06,. American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, VA., 2007.
- [26] F. Nikfar, "Performance Based Assessment of Steel Frames With Cartridge Dampers Using Endurance Time Method," sharif university of technology, 2010. (In Persian).
- [27] H. Estekanchi, A. VAFAEI, and A. SADEGH, "Endurance time method for seismic analysis and design of structures," 2004, Accessed: Mar. 03, 2019. [Online]. Available: http://scientiairanica.sharif.edu/article\_2540\_f 1bf34a38fb5c8a146f456cef9344f5f.pdf.
- [28] S. M. Razavi, "Investigation of Endurance Time in seismic analysis of steel frames as compared to Spectral Analysis Method," Sharif university of technology, 2008. (In Persian).
- [29] H. E. Estekanchi, V. Valamanesh, and A. Vafai, "Application of Endurance Time method in linear seismic analysis," *Engineering Structures*, vol. 29, no. 10, pp. 2551–2562, Oct. 2007, doi: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2007.01.009.
- [30] H. E. Estekanchi, K. Arjomandi, and A. Vafai, "Estimating structural damage of steel moment frames by Endurance Time method," *Journal* of Constructional Steel Research, vol. 64, no. 2, pp. 145–155, Feb. 2008, doi: 10.1016/J.JCSR.2007.05.010.
- [31] H. T. Riahi, H. E. Estekanchi, and A. Vafai, "Endurance Time Method-Application in

مجله علمی – پژوهشی مهندسی عمران مدرس

Behavior of Steel Frames with Controlled Rocking—Part I: Concepts and Quasi-Static Subassembly Testing," in *Structures Congress* 2010, May 2010, pp. 1523–1533, doi: 10.1061/41130(369)138.

- [11] S. Moradi and H. V. Burton, "Response surface analysis and optimization of controlled rocking steel braced frames," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 16, no. 10, pp. 4861–4892, Oct. 2018, doi: 10.1007/s10518-018-0373-1.
- [12] R. Tremblay *et al.*, "INNOVATIVE VISCOUSLY DAMPED ROCKING BRACED STEEL FRAMES."
- [13] M. Pollino and M. Bruneau, "Seismic Retrofit of Bridge Steel Truss Piers Using a Controlled Rocking Approach," *Journal of Bridge Engineering*, vol. 12, no. 5, pp. 600–610, Sep. 2007, doi: 10.1061/(ASCE)1084-0702(2007)12:5(600).
- [14] D. A. Latham and A. M. Reay, "Kilmore Street Medical Centre : Application of an Advanced Flag-Shape Steel Rocking System," *Steel Innovations Conference 2013*, no. Xx, pp. 1– 15, 2013.
- [15] "Priestley M.J.N., (1991).Overview of PRESSS Research Program. PCI Journal 36(4), 50–57. pp."
- [16] N. Rahgozar, A. S. Moghadam, N. Rahgozar, and A. Aziminejad, "Performance evaluation of self-centring steel-braced frame," *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings*, vol. 170, no. 1, pp. 3–16, Jan. 2017, doi: 10.1680/jstbu.15.00136.
- [17] "] Roke D, Sause R, Ricles JM, Seo C-Y, Lee K-S. Self-centering seismic-resistant steel concentrically-braced frames. In: Eighth U.S. national conference on earthquake engineering; 2006."
- [18] V. Broujerdian and E. Mohammadi Dehcheshmeh, "Development of fragility curves for self-centering rocking walls subjected to far and near field ground motions," *Sharif Journal of Civil Engineering*, 2021, doi: 10.24200/j30.2021.57279.2897. (In Persian).
- [19] E. Mohammadi Dehcheshmeh and V. Broujerdian, "Seismic Design Coefficients of Self-Centering Multiple Rocking Walls Subjected to Effect of Far and Near-Field Earthquakes," *Civil Infrastructure Researches*, vol. 7, no. Issue 1 (In progress), 2021, doi: 10.22091/cer.2021.7025.1257. (In Persian).
- [20] L. Wiebe and C. Christopoulos, "Mitigation of higher mode effects in base-rocking systems by

### محمدجواد ابراهیمی مجومرد و همکاران

- [36] H. E. Estekanchi, M. Harati, and M. R. Mashayekhi, "An investigation on the interaction of moment-resisting frames and shear walls in RC dual systems using endurance time method," *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, vol. 27, no. 12, p. e1489, Aug. 2018, doi: 10.1002/tal.1489.
- [37] H. Ahmadieh Amiri, "Seismic Performance Assessment of Steel Frame with Block Damper by Endurance Time Method," sharif university of technology, 2017. (In Persian).
- [38] et al Mazzoni S, McKenna F, Scott MH, Fenves GL, "Open System for earthquake engineering simulation (OpenSEES) user command-language manua," *Pacific Earthquake Engineering Research Center*, *Berkeley, CA, USA*, 2009.
- [39] Altin Yole Tabriz, "Aaltin Yole Buckling Resrained Braces." http://altinyoletabriz.ir/download/catalog 2.pdf (accessed May 06, 2020).
- [40] O. Ghashang pour peivasty, "Experimental Study of Buckling Restrained Brace (BRB)," University of Tabriz, 2016. (In Persian).

امکان سنجی استفاده از روش زمان–دوام برای ارزیابی لرزهای...

Nonlinear Seismic Analysis of Single Degree of Freedom Systems," *Journal of Applied Sciences*, vol. 9, no. 10, pp. 1817–1832, Oct. 2009, doi: 10.3923/jas.2009.1817.1832.

- [32] H. T. Riahi and H. E. Estekanchi, "Seismic assessment of steel frames with the endurance time method," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 66, no. 6, pp. 780–792, Jun. 2010, doi: 10.1016/J.JCSR.2009.12.001.
- [33] A. A. Chiniforush, H. Estekanchi, and K. M. Dolatshahi, "Application of Endurance Time Analysis in Seismic Evaluation of an Unreinforced Masonry Monument," *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 21, no. 2, pp. 181–202, Feb. 2017, doi: 10.1080/13632469.2016.1160008.
- [34] M. J. Maleki-Amin and H. E. Estekanchi, "Damage Estimation of Steel Moment-Resisting Frames by Endurance Time Method Using Damage-Based Target Time," *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 22, no. 10, pp. 1806–1835, Nov. 2018, doi: 10.1080/13632469.2017.1297265.
- [35] E. Tafakori, S. Pourzeynali, and H. E. Estekanchi, "Probabilistic seismic loss estimation via endurance time method," *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, vol. 16, no. 1, pp. 233–245, Jan. 2017, doi: 10.1007/s11803-017-0379-8.

# Feasibility study of using endurance time method for seismic evaluation of self-centering buckling restrained braced frame (SC-BRC-BF)

### Ebrahimi Majumerd Mohammad Javad<sup>1</sup>, Mohammadi Dehcheshmaeh Esmaeil<sup>2</sup>, Broujerdian Vahid<sup>3</sup>\*

1- M.Sc. Graduate, Structural Engineering, Iran University of Science and Technology

2- PhD Candidate, Earthquake Engineering, Civil Eng., Iran University of science and Technology

3- Assistant Professor, Structural Engineering, Iran University of Science and Technology

### \*broujerdian@iust.ac.ir

#### Abstract

The conventional bracing frame (CBF) systems show a limited drift capacity before buckling subjected to seismic loads. So, the induced damage in the structure reduces the strength and stiffness. In the last two decades, self-centering (SC) systems have been developed to resolve the deficiencies of the conventional seismic-resistant systems. In SC systems, the structural damage and residual drift are negligible, while they provide sufficient strength and stiffness. In these systems, prestressed elements are used to provide the initial

stiffness. On the other hand, the steel plate shear wall, bracing, beam connection to the column provide energy dissipation mechanism. These elements are used as replaceable fuses after sever earthquakes. When the force applied to the structure is greater than the initial prestressing force, the gap created in the structure causes the energy dissipating elements to work. The main feature of SC systems is that they return to zero deformation after each load cycle. So, the post tensioned elements must remain elastic to be able to reduce the residual displacement. This property of the systems represents flag-shaped hysteresis lateral load-deformation curves. Among the engineering community, three methods of equivalent lateral forces (ELF), dynamic spectral analysis and dynamic time history analysis are commonly used for seismic analysis of structures. The endurance time (ET) method is a new method for seismic analysis and also for performance-based design of structures. In this method, the structure is subjected to special ET accelerations in which the dynamic response of the structure increases with time. The time needed for the structural failure index (such as the maximum drift of stories) to reach a certain level of performance or failure is defined as the structural ET. As a result, a structure that has a longer ET, has better performance against earthquakes.

The main advantages of the ET method include: 1) by providing a suitable estimate of the structural response in each time history analysis, saves a lot of computational time for seismic evaluation, 2) the nonlinear properties of the structures may be considered which can be used for a variety of structures and complex behavior, 3) this method has a simple concept and principles for engineering applications, and 4) this method has a high capability for experimental work with a shake table.

In the current research, the self-centering buckling restraining column braced frame (SC-BRC-BF) system was examined. This system not only increases the drift capacity, it also reduces damage and residual drift in the system. The SC-BRC-BF system consists of two rigid cores connected by buckling resistance columns (BRC) between the adjacent floors. The BRCs are used as replaceable fuses to dissipate the input energy and to reduce the seismic responses. Vertical post tensioned cable is used to restore the system. For this purpose,

a preliminary design approach was introduced for SC-BRC-BF systems with 3, 6 and 9 stories via SAP 2000 software. The simulation of structures under time history analysis and ET method was done via OpenSees software fin a 2D framework. Different seismic responses were investigated including: 1) roof drift, 2) the

### محمدجواد ابراهيمي مجومرد و همكاران

maximum strain of core elements, 3) drift concentration factor (DCF), and 4) Inter-story drift. The response of structures was examined at both DBE (Design Base Earthquake) and MCE (Maximum Considered Earthquake) levels. Comparing the responses from ET method and the conventional time-history method, the error rate does not exceed 10 and 15 % at the DBE and the MCE levels, respectively. The results obtained from seismic evaluation using the two mentioned approaches, corroborated the high efficiency of ET method with a few number of time history analyzes.

Keywords: Endurance time method, Self-centering system, Nonlinear dynamic analysis, Residual drift, Buckling Restrained brace.