



بررسی رفتار لرزه ای دیوار برشی فولادی کوپل با تغییرات ابعاد بازشو با در نظر گرفتن سطوح عملکرد

حمید صابری^۱، وحید صابری^{۲*}، مائده زاهد^۳، عباسعلی صادقی^۳

^{۱*} استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه غیر انتفاعی ایوان کی، سمنان، ایران (saberi.vahid@gmail.com)

^۲ کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه غیرانتفاعی ایوان کی، سمنان، ایران

^۳ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۲۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۴)

چکیده

دیوار برشی فولادی کوپل به دلیل تامین فضاهای بزرگ برای ایجاد کاربری‌های گوناگون در طبقات و ملاحظات معماری از قبیل درها، پنجره‌ها و راهروها مورد توجه طراحان قرار گرفته است. در این تحقیق، به بررسی اثر زلزله‌های نزدیک و دور از گسل بر روی دو مجموعه قاب با سیستم دیوار برشی فولادی کوپل میان مرتبه پرداخته شده است. در هر دو مجموعه، سازه‌ی دیوار برشی فولادی کوپل ۸ طبقه با تغییرات ابعاد بازشو یکی به طول ۱ متر و دیگری به طول ۲ متر و عرض ۰/۶ متر و ۰/۹ متر (مجموعاً تعداد ۴ قاب) با منظمی در پلان در نظر گرفته شده است. سازه‌ها به صورت سه بعدی در نرم‌افزار ETABS طراحی و سپس قاب دو بعدی کناری در نرم‌افزار OpenSees تحلیل غیرخطی شده‌اند. در این تحقیق، از تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی بارافزون و دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی استفاده شده است. در تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی بارافزون، برش پایه در برابر جابجایی لحاظ گردیده و در تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی، مقادیر تغییر مکان نسبی، مطلق، برش وارد بر طبقات و برش پایه بررسی شده است. نتایج حاصله از تحلیل‌های غیرخطی گویای این مطلب است که با افزایش ابعاد بازشوها، میزان تغییر مکان نسبی و مطلق طبقات افزایش و همچنین با کاهش ابعاد بازشوها میزان برش وارد بر طبقات و برش پایه کاهش می‌یابد که این مسئله نشانگر تاثیر زیاد ابعاد بازشوها بر رفتار لرزه‌ای دیوار برشی فولادی کوپل با در نظرگیری سطوح عملکرد قاب می‌باشد.

کلمات کلیدی

دیوار برشی فولادی کوپل، تغییرات ابعاد بازشو، تحلیل استاتیکی غیرخطی بارافزون، تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی، سطوح عملکرد.



Seismic Behavior of Coupled Steel Plate Shear Wall with Variation of Opening Dimensions and Considering the Performance Levels

Hamid Saberi¹, Vahid Saberi^{1*}, Maede Zahed², Abbasali Sadeghi³

^{1*} Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Eyvanekey, Semnan, Iran
(saberi.vahid@gmail.com)

² M.Sc. student, Department of Civil Engineering, University of Eyvanekey, Semnan, Iran

³ PhD Candidate, Department of Civil Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

(Date of received: 11/06/2021, Date of accepted: 06/10/2021)

ABSTRACT

In recent years, Coupled Steel Plate Shear Wall system has been used in mid and high-rise buildings because it has advantages such as providing large spaces for creating various uses. So this was brought into the attention of the designers. The lateral structural response is exactly dependent on the shear walls behavior; therefor these elements must response well under different loading situation. So this paper aims to study the effects of near and far fault earthquakes on the two series of mid-rise frame with the steel plate shear wall with the coupling system. In both series, the coupled steel plate shear wall will be evaluated by variation of opening dimensions, one in length of 1 and 2 m and the width of 0.6 m and 0.9 m with regularity in the plan. Firstly, structures are modeled in ETABS software three dimensionally. Then, the axis frame is analysed in OpenSees two dimensionally. In this paper, the nonlinear static pushover and dynamic time history analyses are carried out. The results of nonlinear analyses show that by increasing the dimensions of the openings, the drift and absolute displacement of the stories are enhanced and also by decreasing the dimensions of the openings, the amount of stories shear and base shear are decreased, which indicates the great effect of the dimensions of the openings on the seismic behavior of coupled steel plate shear wall with considering the performance levels of the frame.

Keywords:

Coupled Steel Plate Shear Wall, Variation of Opening Dimension, Nonlinear Static Pushover Analysis, Nonlinear Dynamic Time History Analysis, Performance Levels.



دیوار برشی فولادی (SPSW)^۱ در چهار دهه‌ی اخیر در آمریکای شمالی، کانادا و ژاپن به عنوان یک سیستم مقاوم در برابر بارهای ثقیل و جانبی مورد استفاده قرار گرفته است [۱]. به دلیل تامین فضای بزرگ برای ایجاد کاربری‌های گوناگون در طبقات مختلف از یک سو و ملاحظات معماری از قبیل بازشوها (درها، پنجره‌ها و راهروها) از سوی دیگر باعث استفاده از سیستم دیوار برشی فولادی کوپل (SPSW-WC)^۲ گردید. دیوار برشی فولادی کوپل به عنوان یک سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی از مقاومت و سختی جانبی بالا و توانمندی در استهلاک انرژی برخوردار است. علی‌رغم اهمیت مقوله‌ی بازشوها و ضرورت بررسی آثار آنها در رفتار سیستم، با وجود پژوهش‌هایی که طی سالیان متمادی پژوهشگران در این زمینه به انجام رساندند هنوز مطالعات عددی یا آزمایشگاهی معدودی در زمینه‌ی حضور بازشوها در دیوارهای برشی فولادی صورت گرفته است [۲]. که از جمله‌ی آن می‌توان به ویژگی‌های پالس گونه زلزله‌های حوزه نزدیک و انجام تحلیل‌های دقیق از قبیل تحلیل استاتیکی غیرخطی (بارافزون) و تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی و بررسی سطوح عملکردی اشاره نمود تا بتوان رفتار لرزه‌ای سازه‌های فولادی با دیوار برشی کوپل با تغییرات ابعاد بازشو تحت زلزله‌های حوزه نزدیک و دور از گسل را بهتر پیش‌بینی نمود تا سازه‌ها با عملکرد مناسب‌تری طراحی شوند. از پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

رابرتس و صبوری^۳ در سال ۱۹۹۲، به بررسی اثر بازشو دایروی مرکزی در رفتار چرخه‌ای پانل‌های برشی فولادی پرداختند. آن‌ها نشان دادند که سختی و مقاومت پانل‌ها با بازشو را می‌توان به صورت محافظه‌کارانه، با اعمال یک ضریب کاهش خطی به سختی و مقاومت پانل بدون بازشو نظیر تخمین زد [۳]. درایور و همکاران^۴ در سال ۱۹۹۸، به بررسی آزمایشگاهی یک قاب چهار طبقه مجهز به دیوار برشی فولادی تحت بارگذاری رفت و برگشتی پرداختند. این قاب تنها از یک دهانه شامل دیوار برشی فولادی بدون سخت‌کننده ساخته شده بود. بار عمودی ثابت در محل ستون‌ها اعمال شد و ۳۰ سیکل بارگذاری به صورت جانبی در تراز طبقات نیز اعمال شد. نتایج در قالب جذب انرژی، شکل‌پذیری و مودهای تسلیم و کمانش بررسی شدند [۴]. هریس و همکاران^۵ در سال ۲۰۰۴، به بررسی و مطالعه‌ی پارامتریک رفتار دیوارهای فولادی کوپل پرداختند. هدف آن‌ها از بررسی بیش از ۲۰۰۰ مدل هندسی دیوار کوپل، ارزیابی پاسخ الاستیک این نوع دیوارها و تعیین پارامترهایی که منجر به تخمین درست از رفتار کلی سیستم و اندرکنش بین رفتارهای کلی و موضعی بین تیر و قاب می‌شود، بود. آن‌ها تاثیر کاهش مقطع در ظرفیت سیستم را که در آئین‌نامه‌ها اشاره شده بود نیز مورد بحث قرار دادند [۵]. کنبلات و همکاران^۶ در سال ۲۰۰۵، به بررسی آزمایشگاهی تیر رابط دیوار برشی کوپل پرداختند. آن‌ها یک کار تحلیلی بر روی ساختمان ۱۸ طبقه با دیوارهای برشی با جایگزین کردن بتن *HPFRCC*^۷ در نقاط بحرانی و تیرهای کوپل انجام دادند. آن‌ها نشان دادند که استفاده از این بتن، موثر در افزایش مقاومت برشی بتن و افزایش شکل‌پذیری سازه می‌شود همچنین نتایج شبیه‌سازی، رفتار مناسب سازه در مقابل زلزله و بهبود مفاصل پلاستیک و کنترل ترک‌ها را نشان داد [۶]. کیو و برانیو^۸ در سال ۲۰۰۹، بیان کردند که مقاومت جانبی کل دیوار برشی فولادی که با روش ظرفیت طراحی می‌شود، دو برابر مقداری است که توسط بار جانبی به آن اعمال می‌شود [۷]. صبوری و همکاران در سال ۲۰۱۲، به بررسی اثر تغییر ابعاد و محل قرارگیری بازشوهای مستطیلی بر روی سختی و مقاومت پانل‌های فولادی سخت شده (با مجموعه‌ای از ورق‌های افقی و قائم) و بدون سخت

¹ Steel Plate Shear Wall

² Steel Plate Shear Wall with Coupling

³ Roberts and Sabouri

⁴ Driver et al.

⁵ Harries et al.

⁶ Canbolat et al.

⁷ High Performance Fiber-Reinforced Cementitious Composites

⁸ Qu and Bruneau



کننده به صورت عددی پرداختند. آن‌ها نشان دادند که موقعیت بازشو مستطیلی اهمیت چندانی در رفتار پانل‌های فولادی سخت شده ندارد، در حالی که در مدل‌های بدون سخت کننده، سختی و مقاومت پانل با تغییر موقعیت بازشو به شدت تغییر می‌کند [۸]. حاتمی و قلی‌خانی در سال ۲۰۱۵، به بررسی رفتار جانبی دیوارهای برشی فولادی سرد نورد با پوشش ورق فولادی به روش اجزاء محدود پرداختند. آن‌ها پانل‌های دیوار برشی را با استفاده از نرم افزار اجزا محدود آباکوس تحلیل کردند و روشی ساده برای مدل‌سازی پیچ‌های اتصال ورق پوشش به قاب ارائه نمودند که امکان شبیه‌سازی خرابی در محل اتصالات را فراهم می‌نماید [۹]. قلهکی و قدکساز در سال ۲۰۱۶، بر روی مدل‌ها با تعداد طبقات مختلف و طول‌های مختلف تیر کوپل تحلیل تاریخچه زمانی انجام دادند. یافته‌ها نشان داد که با افزایش طول تیر، مقاومت برشی سیستم کاهش می‌یابد. علاوه بر این، دوره تناوب و تغییر مکان نسبی طبقات با افزایش طول تیر کوپل، افزایش می‌یابد [۱۰]. شایانفر و همکاران در سال ۲۰۱۷، به بررسی رفتار دیوار برشی فولادی براساس روش طراحی پلاستیک منطبق بر عملکرد پرداختند [۱۱]. پاویر و شکسته‌بند^۹ در سال ۲۰۱۷، در تحقیق خود رفتار هیستریزس دیوارهای برشی فولادی کوپل را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق برای در نظر گرفتن حالت‌های مختلف اعضاء از لحاظ شکست برشی، شکست خمشی و شکست برشی و خمشی یک قاب چهار طبقه دارای دیوار برشی کوپل با مقطع عرضی مختلف و طول‌های متفاوت تیرهای کوپل در نظر گرفته شد. در این تحقیق مدل‌ها به روش اجزای محدود غیرخطی مدل‌سازی و تحت بارگذاری چرخه‌ای تحلیل شدند. بر اساس نتایج این تحقیق مقاومت برشی و استهلاک انرژی مدل‌ها با افزایش ظرفیت و طول تیرهای کوپل افزایش می‌یابد [۱۲]. گورجی و چنگ^{۱۰} در سال ۲۰۱۸، در تحقیق خود تحلیل پلاستیک و طراحی بر اساس عملکرد دیوار برشی فولادی کوپل را مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق مذکور، یک روش جدید برای تحلیل پلاستیک و طراحی بر اساس عملکرد دیوار برشی فولادی کوپل پیشنهاد شد. نتایج این تحقیق نشان داد روش طراحی پیشنهادی در ارزیابی عملکرد دیوار برشی فولادی کوپل مناسب می‌باشد [۱۳]. شربتدار و خسروآبادی در سال ۲۰۱۸، به بررسی کفایت آیین‌نامه‌ها برای طراحی لرزه‌ای دیوارهای برشی ورق فولادی با متغیرهای هندسی و فیزیکی پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش تعداد طبقات، مد خرابی اصلی دیوار به صورت کماتش کلی در پای ستون ظهور می‌کند، که این خود همراه با زوال مقاومت و سختی می‌باشد [۱۴]. حاتمی و پاسلار در سال ۲۰۱۹، به بررسی سیستم دیوار برشی فولادی با ورق میانی دارای بازشو مرکزی با قطر متفاوت، ورق میانی از جنس فولاد متفاوت و افزایش سختی در المان‌های مرزی پرداخته است. در این مطالعه با استفاده از روش اجزای محدود سه هدف دنبال شد. الف) بررسی تاثیر بازشو دایره ای بر رفتار دیوار برشی فولادی و ارائه رابطه بین نسبت قطر سوراخ به ارتفاع و مقاومت نهایی دیوار ب) تاثیر افزایش سختی المان های تیر و ستون بر رفتار دیوار برشی فولادی و ارائه رابطه بین تاثیر افزایش هر یک بر مقاومت نهایی دیوار ج) تاثیر جنس ورق میانی با فولادهای متفاوت بر رفتار دیوار برشی فولادی. بدین منظور با استفاده از نرم افزار اجزای محدود مدل‌های عددی متعددی طراحی شد که در ابعاد بازشو، سختی المان های مرزی و نوع ورق میانی تفاوت داشتند. نتایج تمامی مدل‌ها پیرامون مقاومت نهایی، شکل‌پذیری، سختی و جذب انرژی استخراج و با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت [۱۵]. خیزاب و همکاران در سال ۲۰۲۰، سازه‌های فولادی قاب خمشی با و بدون دیوار برشی فولادی (۳، ۶ و ۹ طبقه) به صورت سه بعدی در نرم‌افزار ETABS بر اساس ضوابط آیین‌نامه‌ای طراحی کردند و سپس قاب دو بعدی کناری استخراج و تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی تحت بارگذاری انفجاری در دو سناریو داخل و خارج صفحه‌ی قاب در نرم‌افزار اجزا محدودی را مورد بررسی قرار دادند و در نهایت امکان رخداد فروریزش پیش‌رونده بررسی و مقایسه شده است. نتایج تحقیق مذکور نشان داد که در سناریوی بارگذاری انفجار داخل صفحه‌ی قاب، سیستم دوگانه‌ی دیوار برشی فولادی عملکرد مناسبی در مقایسه با سیستم قاب خمشی داشته و باعث محدود شدن فروریزش

⁹ Pavir and Shekastehband

¹⁰ Gorji and Cheng



پیش‌رونده گردیده درحالی‌که در سناریوی بارگذاری انفجار خارج از صفحه‌ی قاب به دلیل انتشار موج انفجار بر دیوار برشی فولادی، سیستم قاب خمشی عملکرد بهتری داشته است [۱۶]. در این تحقیق، سازه‌ی دیوار برشی فولادی کوپل ۸ طبقه با تغییرات ابعاد بازشو یکی به طول ۱ متر و دیگری به طول ۲ متر و عرض ۰/۶ متر و ۰/۹ متر (مجموعاً تعداد ۴ قاب) با ارتفاع طبقه‌ی همکف ۲/۸ متر و سایر طبقات ۳ متر منظم در پلان در نظر گرفته شده است. سازه‌ها به صورت سه بعدی در نرم‌افزار *ETABS* [۱۷] طراحی و سپس قاب دو بعدی کناری در نرم‌افزار *OpenSees* [۱۸] تحلیل غیرخطی شده‌اند. در این تحقیق، به بررسی میزان تاثیر ابعاد بازشو بر روی تغییرات سطوح عملکرد سازه‌های فولادی دارای دیوار برشی فولادی کوپل منظم در پلان تحت ۴ زوج شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک به گسل و ۴ زوج شتاب‌نگاشت حوزه دور از گسل پرداخته شده است. برای دستیابی به پاسخ دقیق‌تر، از تحلیل‌های غیرخطی از قبیل تحلیل استاتیکی غیرخطی (بارافزون) و تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی استفاده شده است و با به دست آوردن میزان تغییرمکان نسبی، مطلق، برش وارد بر طبقات و برش پایه به بررسی رفتار لرزه‌ای سازه‌های مذکور با در نظر گرفتن تغییرات ابعاد بازشو و سطح عملکرد قاب‌ها پرداخته شده است.

۲- مبانی نظری تحقیق

۲-۱- تحلیل استاتیکی غیرخطی (بارافزون)

تحلیل استاتیکی غیرخطی بار افزون می‌تواند به‌عنوان روشی جهت پیش‌بینی نیازهای تغییرشکلی و نیروهای لرزه‌ای مورد استفاده قرار گیرد. در این روش تحلیل ابتدا بار ثقلی با یک ترکیب خاص بر روی قاب قرار داده می‌شود. پس از انجام یک تحلیل استاتیکی غیرخطی و مشخص شدن تغییرشکل‌های اعضا تحت بار ثقلی، نیروی برش پایه به‌صورت استاتیکی تحت الگویی مشخص در تراز طبقات به تدریج و به‌صورت فزاینده به سازه اعمال می‌شود. این افزایش از صفر شروع و تا آنجایی ادامه پیدا می‌کند که تغییر مکان در یک نقطه خاص (نقطه‌ی کنترل) تحت اثر بار جانبی، به مقدار مشخصی (تغییرمکان هدف) برسد و یا مکانیسم خرابی در سازه به وجود بیاید [۱۹-۲۲].

۲-۲- تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی

در روش تحلیل دینامیکی غیرخطی، پاسخ سازه با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح و رفتار هندسی سازه محاسبه می‌شود. در این روش، فرض بر آن است که ماتریس سختی و میرایی از یک گام به گام بعدی می‌تواند تغییر کند، اما در طول هر گام زمانی ثابت است و پاسخ مدل تحت شتاب زلزله به روش‌های عددی و برای هر گام زمانی محاسبه می‌شود. تحلیل دینامیکی غیرخطی دقیق‌ترین روشی است که در تحلیل سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این تحلیل به تغییراتی نظیر تغییر خصوصیات شتاب‌نگاشت و رفتار سخت شدگی غیرخطی المان‌های مورد استفاده بسیار حساس می‌باشد. در نتیجه، بحث مقیاس کردن شتاب‌نگاشت‌ها و روش انجام این کار تأثیر مستقیمی در نتایج تحلیل می‌گذارد. به همین علت برای کاهش پراکندگی نتایج و برآورد صحیح نیازهای لرزه‌ای لازم است تحلیل‌های تاریخچه زمانی متعددی طی زلزله‌های مختلف انجام شود [۲۳-۲۷].



۳- مشخصات رکوردهای مورد استفاده

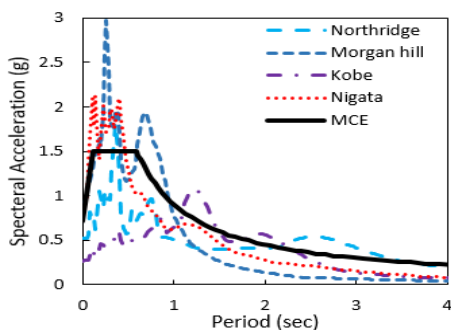
به منظور انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی از ۴ رکورد حوزه‌ی دور از گسل و ۴ رکورد حوزه‌ی نزدیک به گسل مطابق جدول‌های ۱ و ۲ استفاده شده است. بزرگای رکوردهای مذکور بین $6/2$ و $7/6$ در مقیاس ریشتر می‌باشد که از سایت *PEER* دریافت شده‌اند [۲۸]. معیار انتخاب رکوردهای نزدیک به گسل براساس پیشنهاد بیکر در سال ۲۰۰۷ می‌باشد [۲۹]: الف) شاخص پالس بیشتر از $0/85$ باشد. ب) پالس در لحظات آغازین سرعت نگاشت شکل گیرد. ج) *PGA* رکورد زلزله بیشتر از 30 متر بر ثانیه باشد. ضمناً رکوردهای دور از گسل فاقد اثرات پالسی می‌باشند. حداقل *PGA* برای این دسته از رکوردها $0.1g$ در نظر گرفته شده است. نوع خاک رکوردها براساس استاندارد *FEMA-P695* [۲۲] نوع *D* لحاظ شد. ضمناً برای مقیاس‌سازی رکوردها از روش پیشنهادی در *FEMA-P695* استفاده شده است. بدین ترتیب که هر یک از رکوردها ابتدا با توجه به بیشینه سرعت زمین (*PGV*) آن‌ها هم پایه شد. سپس مجموعه رکوردهای هم پایه شده طوری مقیاس شدند که میانه طیف رکوردها در دوره تناوب مد اول قاب‌ها منطبق بر طیف بیشینه زلزله محتمل شود. در شکل ۱، طیف‌های هر دسته از زلزله‌های هم پایه شده به همراه طیف بیشینه زلزله محتمل نشان داده شده است. با استفاده از رکوردهای مذکور برای انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی، رفتار لرزه‌ای سازه‌های فولادی به همراه دیوار برشی کوپل با تغییرات ابعاد بازشو حاصل گردیده است.

جدول ۱: مشخصات لرزه‌ای رکوردهای دور از گسل.

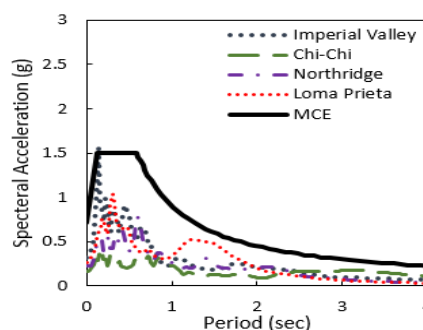
شماره	نام رکورد و تاریخ رخداد	بزرگای	فاصله از گسل (km)	زمان تناوب غالب (s)	بیشینه سرعت زمین (cm/s)
۱	Chi-Chi CHY101-W, Taiwan, 1999	۷/۶	۱۱/۱۴	۱/۲۹	۷۰/۶۴
۲	Imperial Valley, H-E01240, 1979	۶/۵	۱۰/۴	۰/۷۵	۳۱/۵۸
۳	Loma Prieta, G03090, 1989	۶/۹	۱۴/۴	۰/۹۲	۳۹/۰۳
۴	Northridge, CNP 196, 1994	۶/۷	۱۵/۸	۰/۸	۶۰/۷

جدول ۲: مشخصات لرزه‌ای رکوردهای نزدیک به گسل.

شماره	نام رکورد و تاریخ رخداد	بزرگای	فاصله از گسل (km)	زمان تناوب غالب (s)	بیشینه سرعت زمین (cm/s)
۱	Nigata Japan, NIGH 11, 2004	۶/۶	۸/۹	۱/۸	۳۶/۴
۲	Kobe, Japan, Takatori, 1994	۶/۹	۱/۴۷	۱/۶	۱۷۰
۳	Northridge-01, Jensen Filter Plant, 1994	۶/۷	۵/۴۳	۳/۵	۶۷
۴	Morgan Hill, Coyote Lake Dam (SW Abut), 1984	۶/۲	۰/۵۳	۱	۶۲



ب) طیف زلزله‌های نزدیک به گسل



الف) طیف زلزله‌های دور از گسل

شکل ۱: زلزله‌های مقیاس شده در این مطالعه بر حسب طیف بیشینه زلزله محتمل.



۴- طراحی و مدلسازی قاب ها

در این تحقیق، دو قاب ۸ طبقه دارای دیوار برشی کوپل با تغییرات ابعاد بازشو یکی به طول ۱ متر و دیگری به طول ۲ متر و عرض یکبار ۰/۶ متر و با دیگر ۰/۹ متر (مجموعاً ۴ قاب) در نظر گرفته شده است. این قاب‌ها با ارتفاع طبقه همکف ۲/۸ متر و سایر طبقات ۳ متر منظم در پلان به طول دهانه ۵ متر فرض شده است. کاربری سازه‌ها مسکونی در نظر گرفته شد و نسبت شتاب مبنای طرح، پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد ($PGA=0/35$) برای تمام سازه‌ها در نظر گرفته شد. مشخصات مصالح بکار رفته در سازه مطابق جدول ۳ می‌باشد. سازه‌های فولادی براساس استاندارد لرزه‌ای ۲۸۰۰ ایران ویرایش چهارم، مباحث ششم و دهم مقررات ملی ساختمان طراحی شده‌اند [۳۰-۳۲]. دیوارهای برشی فولادی کوپل براساس روش مدل نواری طراحی شده‌اند و سپس قاب‌های مذکور به روش حدی نهایی و در نرم‌افزار *ETABS* تحلیل و طراحی شده‌اند. فولاد مصرفی از نوع *ST37* می‌باشد و بارهای مرده وزنده کلیه طبقات به ترتیب ۵۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر متر در نظر گرفته شده است. ضریب رفتار سیستم دیوار برشی فولادی مطابق با آیین‌نامه *ASCE07-10* [۳۳] برای حالت حدی معادل ۸ در نظر گرفته شده است. مقاطع تیر و ستون در جدول ۴ نشان داده شده است. ضخامت ابعاد دیوار برشی فولادی در تمام طبقات برای سازه‌های فولادی به همراه دیوار برشی کوپل دارای ابعاد بازشو $1x0/6$ ، $1x0/9$ و $2x0/6$ مقطع *W40*، ۴۰ میلی متر و برای سازه با ابعاد بازشو $2x0/9$ مقطع *W45*، ۴۵ میلی متر مورد استفاده قرار گرفت. پلان مشترک قاب‌های مورد مطالعه مطابق شکل ۲ ارائه شده است. همچنین مطابق شکل ۳، برای بررسی نتایج تحلیل‌های غیرخطی از قبیل تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی، نمای قاب‌های مورد مطالعه نشان داده شده است. در تحلیل‌ها، میرایی معادل ۵٪ لحاظ گردیده است. از مصالح فولاد (*Steel01*) مطابق شکل ۴ استفاده شده است که این مصالح تک‌محوری دوخطی با سخت‌شوندگی سینماتیک و سخت‌شوندگی ایزوتروپیک اختیاری است که با یک معادله تکاملی غیرخطی توصیف می‌شود [۳۴]. نمونه‌های دو بعدی طراحی شده، در نرم‌افزار *OpenSees* مدل‌سازی شدند. برای تمامی مقاطع از المان *Fiber* استفاده شده است. در مدلسازی با *OpenSees*، نوارهایی فقط کششی در یک جهت برای نشان دادن رفتار پس از کمانش ورق‌های جان استفاده شد. جمعاً ۱۰ نوار کششی برای مدل کردن ورق‌های جان استفاده شده است. ثابت شده که مدل‌سازی ورق‌های جان با استفاده از این نوارها منجر به نتایجی می‌شود که مطابقت خوبی با داده‌های آزمایشگاهی دارد. برای مدل‌سازی هر نوار از یک المان خرپایی و مصالح هیستریزس استفاده شده است. این مدل مواد باعث توسعه کشش المان‌های با رفتار *pinched* می‌شود که مشخصه ورق‌های جان در میدان کشش است. اعضای مرزی افقی و عمودی با استفاده از المانهای تیر ستون غیرخطی پلاستیسیته گسترده با مقاطع *Fiber* مدلسازی شده‌اند [۳۵]. این المان‌ها به جای مفاصل پلاستیک مجزا برای حساب کردن امکان تسلیم در مکان‌های دیگری از انتهای اعضای مرزی افقی استفاده شده‌اند. این رشته‌یاف با توجه به نوع رفتار مصالح تعریف شده قابلیت ایجاد پلاستیسیته گسترده را در المان فراهم می‌کند. به هر حال، نتایج تحلیل مشخص کرده که تسلیم به انتهای اعضا محدود است. ضمناً اتصال تیر به ستون قاب‌های این تحقیق به صورت گیرداری در نظر گرفته شده است.

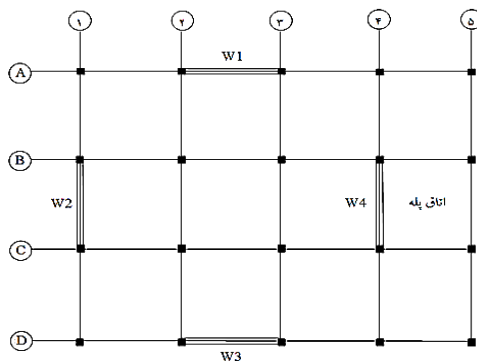


جدول ۳: مشخصات بکار رفته در ساختمان‌های مورد مطالعه.

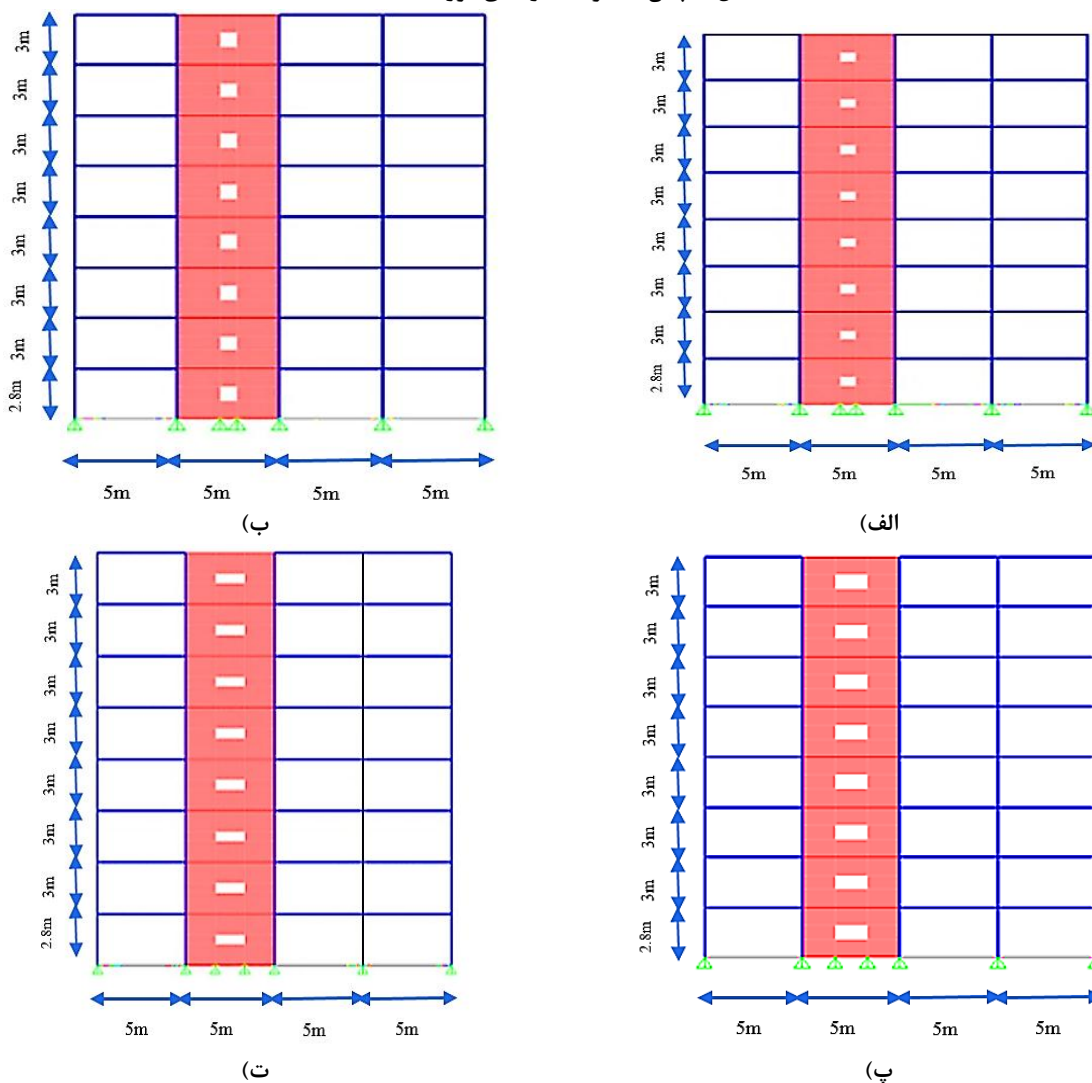
مصالح بتنی		مصالح فولادی	
2400 kgf/m^3	وزن واحد حجم W	7800 kgf/m^3	وزن واحد حجم W
$2/18 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$	مدول الاستیسیته E_s	$0/06 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$	مدول الاستیسیته E_s
245 kg/m^3	جرم واحد حجم M	795 kg/m^3	جرم واحد حجم M
۰/۲	ضریب پواسون ν	۰/۳	ضریب پواسون ν
210 kgf/cm^2	مقاومت فشاری بتن f_c'	2400 kgf/cm^2	تنش تسلیم فولاد f_y
3000 kgf/cm^2	مقاومت تسلیم میلگرد طولی f_y	3600 kgf/cm^2	مقاومت نهایی فولاد f_u
3000 kgf/cm^2	مقاومت تسلیم خاموت f_{ys}		

جدول ۴: مقاطع قاب‌های فولادی دارای دیوار برشی فولادی کوپل با تغییرات بازشو $0/6 \times 10$ ، $0/9 \times 10$ ، $0/6 \times 20$ و $0/9 \times 20$

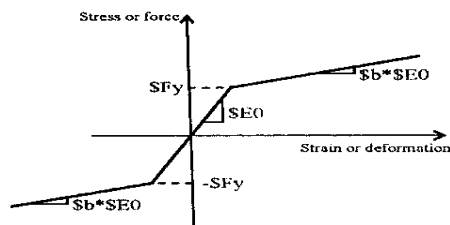
مقاطع ستون					
طبقات	ستون‌های اطراف	ستون دیوار برشی کوپل	ستون دیوار برشی کوپل	ستون‌های اطراف	ستون‌های اطراف
۱	3IPE180	3IPE300FF20	3IPE300FF20	3IPE240	3IPE220
۲	3IPE160FA10WA20	3IPE270FD20	3IPE300FA20WA10	3IPE270	3IPE220
۳	3IPE180	3IPE220FB10WB20	3IPE270FA20	3IPE240	3IPE240
۴	3IPE200	3IPE220	3IPE200	3IPE240	3IPE220
۵	3IPE180	3IPE200	3IPE270	3IPE220	3IPE200FA10
۶	3IPE180FA10	3IPE200FC10WC20	3IPE240	3IPE220FA10	3IPE220
۷	2IPE220	3IPE140	3IPE270	3IPE220	3IPE220
۸	3IPE200	3IPE240FA10WA20	3IPE270	3IPE200FA10	3IPE220
مقاطع تیر					
طبقات	تیرهای اطراف	تیرهای همبند	تیرهای اطراف	تیرهای اطراف	تیرهای اطراف
۱	IPE160	IPE100	IPE160	IPE600	IPE600
۲	IPE160	IPE100	IPE160	IPE600	IPE600
۳	IPE160	IPE100	IPE160	IPE600	IPE600
۴	IPE140FC10	IPE100	IPE160	IPE600	IPE600
۵	IPE600	IPE600	IPE600	IPE600	IPE600
۶	IPE600	IPE600	IPE600	IPE600	IPE600
۷	IPE600	IPE600	IPE600	IPE600	IPE600
۸	IPE600	IPE600	IPE600	IPE600	IPE600



شکل ۲: پلان مشترک سازه‌های مورد مطالعه



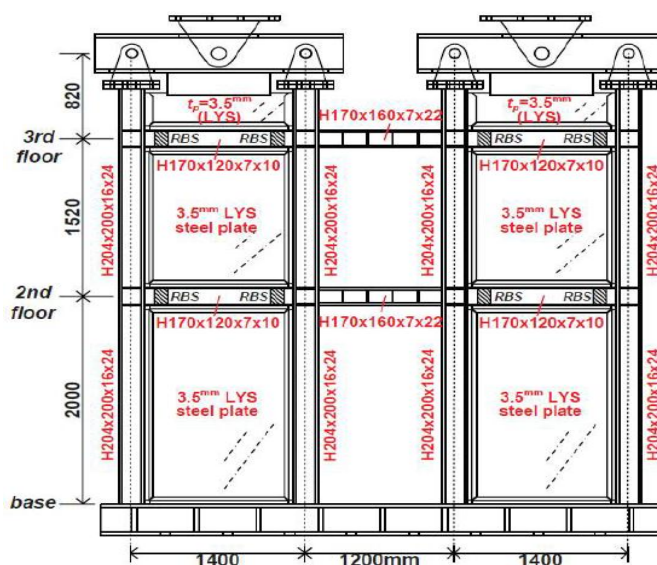
شکل ۳: قاب‌های فولادی دارای دیوار برشی فولادی کوپل با تغییرات ابعاد بازشو جهت انجام تحلیل‌های غیرخطی: الف) ابعاد بازشو ۱ x ۰/۹ (ب) ابعاد بازشو ۱ x ۰/۶ (پ) ابعاد بازشو ۲ x ۰/۹ (ت) ابعاد بازشو ۳ x ۰/۶



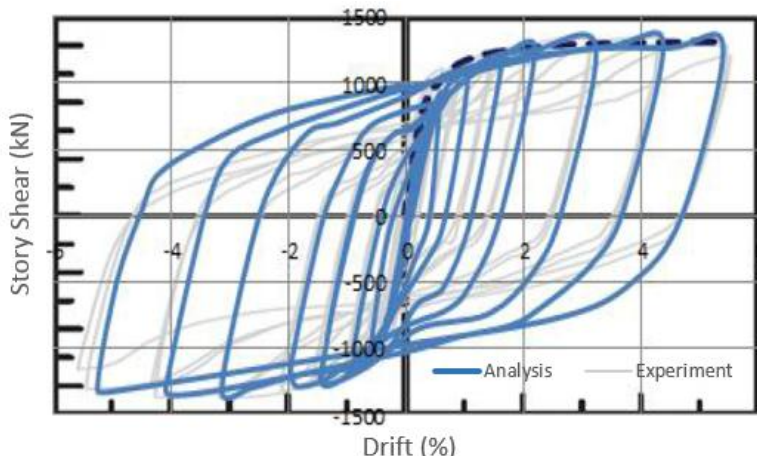
شکل ۴: مشخصات مصالح Steel01 در نرم افزار OpenSees [۳۴].

۵- صحت سنجی دیوار برشی فولادی کوپل

در این قسمت یک نمونه دیوار برشی فولادی کوپل که توسط لی و همکاران [۳۶] در مرکز مطالعات لرزه‌ای ملی تایوان مورد بررسی قرار گرفته است، با استفاده از نرم افزار OpenSees مورد تحلیل و ارزیابی قرار می‌گیرد. دیوار مورد بررسی دارای دو دهانه دیوار برشی به عرض ۱۴۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۵۲۰ میلی‌متر میباشد که توسط دو عدد تیر فولادی به طول ۱۰۰۰ میلی‌متر به صورت کوپل به هم متصل شده‌اند. تیرهای این دیوار برشی از مقطع $H170x120x7x10$ ، تیرهای پیوند از مقطع $H170x160x7x22$ ستون‌های طبقات از مقطع $H240x200x16x24$ می‌باشند. نوع فولاد اعضای مرزی دیوار برشی و تیر پیوند از نوع $A572 Grade 50$ می‌باشد. ضخامت ورق دیوار برشی $3/5$ میلی‌متر و از نوع ورق نرم LYS می‌باشد. جهت مدل‌سازی مصالح ورق نازک دیوار برشی فولادی که به صورت نواری از مدل رفتاری $Hysteretic Material Uniaxial$ که قابلیت مدل‌سازی رفتار فولاد به صورت سه خطی در کشش و فشار را دارد، استفاده شده است. در شکل ۵، نمای کلی این دیوار نشان داده شده است. شکل ۶ نیز تطابق منحنی چرخه‌ای برش طبقه-تغییر مکان نسبی دو نمونه آزمایشگاهی و عددی را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۶ مشخص می‌باشد، نتایج مدل‌سازی تحقیق حاضر دارای تطابق مناسبی با نمونه آزمایشگاهی می‌باشد.



شکل ۵: نمای کلی دیوار برشی فولادی کوپل ساخته شده توسط لی و همکاران [۳۶].

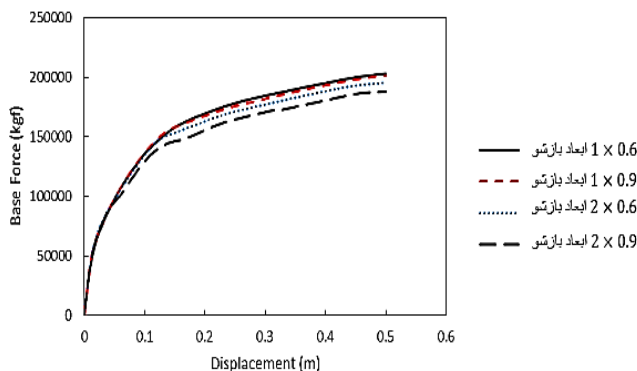


شکل ۶: مقایسه ی نتایج مدل شبیه سازی شده در نرم افزار OpenSees و نتیجه آزمایشگاهی مطالعه ی لی و همکاران [۳۶].

۶- صحت سنجی دیوار برشی فولادی کوپل

۶-۱- تحلیل استاتیکی غیرخطی بارافزون

قاب‌های مورد مطالعه تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی قرار گرفتند. در این تحلیل از الگوی بارگذاری جانبی مد اول و برای تعیین جابه‌جایی هدف از روش ضرایب ثابت $FEMA-356$ [۳۷] مورد استفاده قرار گرفت. با انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی برای سازه میان مرتبه با سیستم دیوار برشی کوپل دارای بازشو و بدست آوردن مقادیر جابه‌جایی بر حسب متر در مقابل برش پایه برحسب kgf ترسیم شد که جهت مقایسه و ارزیابی عملکرد لرزه‌ای، منحنی‌های بارافزون ۴ قاب مطابق شکل ۷ نشان داده شده است. منحنی‌های مذکور برای دو سطح خطر زلزله‌ی طرح (DBE)^{۱۱} و زلزله‌ی خیلی شدید (MCE)^{۱۲} دو خطی گردید که در شکل ۸ نشان داده شده است. مطابق شکل ۸ با افزایش اندک در سطح مقطع بازشو از ۰/۶ به ۰/۹ متر مربع تفاوتی در منحنی‌های بارافزون آن‌ها مشاهده نمی‌شود اما با افزایش مساحت بازشو از ۱/۲ به ۱/۸ متر مربع به تدریج منحنی بارافزون به سمت پایین متمایل شده است. با کاهش سطح مقطع از ۱/۲ به ۰/۶ متر مربع و همچنین از ۱/۸ به ۰/۹ متر مربع مقدار مقاومت نهایی به ترتیب ۱/۵ و ۲/۵ درصد کاهش یافته است که نشان دهنده‌ی این مطلب می باشد که تاثیر مساحت بازشوه‌های مورد بررسی در عملکرد لرزه‌ای قاب مورد نظر بسیار اندک است.



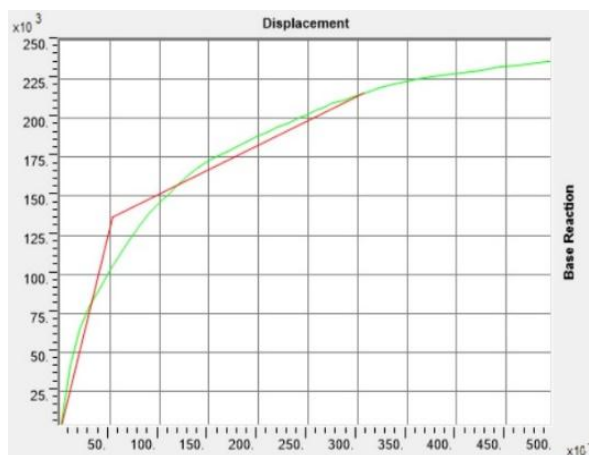
شکل ۷: مقایسه ی منحنی های بارافزون.

¹¹ Design Basis Earthquake

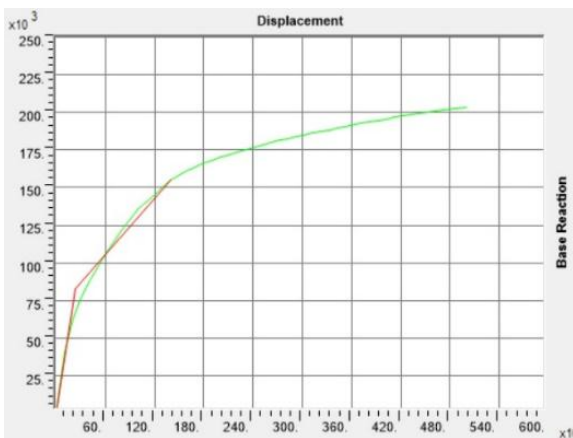
¹² Maximum Considered Earthquake



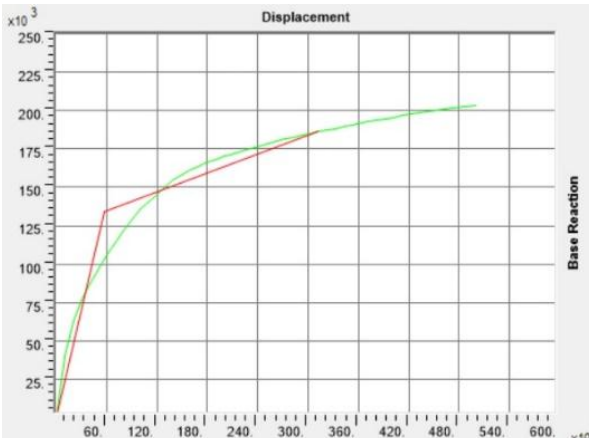
ب) ابعاد باز شو $1 \times 0/6$ در سطح DBE



الف) ابعاد باز شو $1 \times 0/6$ در سطح MCE



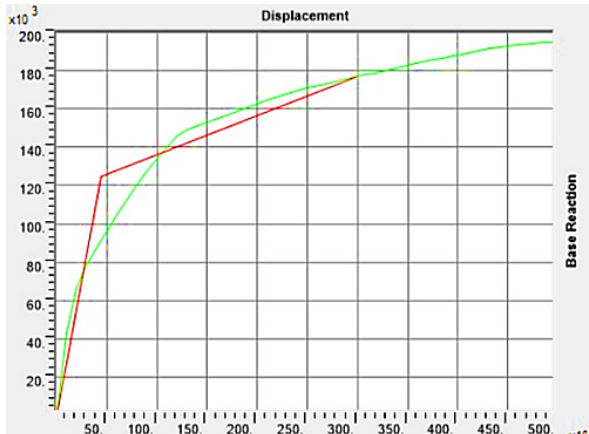
ت) ابعاد باز شو $1 \times 0/9$ در سطح DBE



پ) ابعاد باز شو $1 \times 0/9$ در سطح MCE



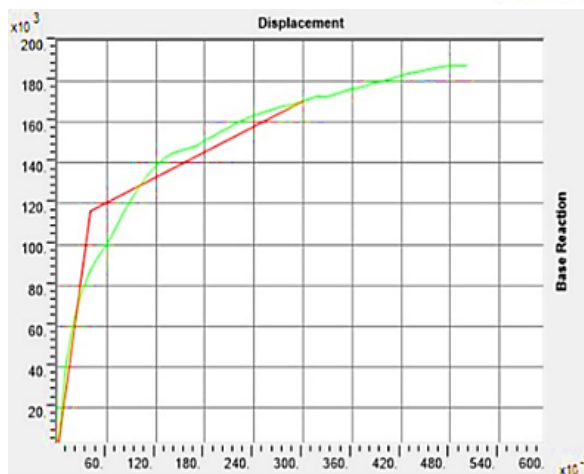
ح) ابعاد باز شو $2 \times 0/6$ در سطح DBE



ج) ابعاد باز شو $2 \times 0/6$ در سطح MCE



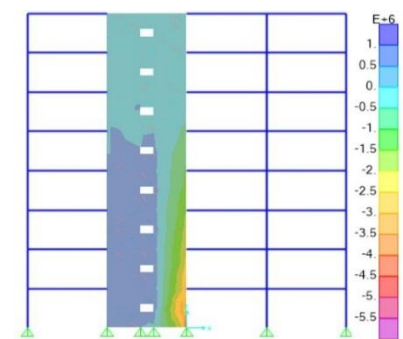
چ) ابعاد باز شو $2 \times 0/9$ در سطح DBE



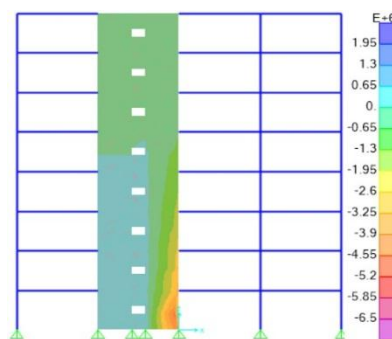
خ) ابعاد باز شو $2 \times 0/9$ در سطح MCE

شکل ۸: دو خطی سازی منحنی‌های بارافزون.

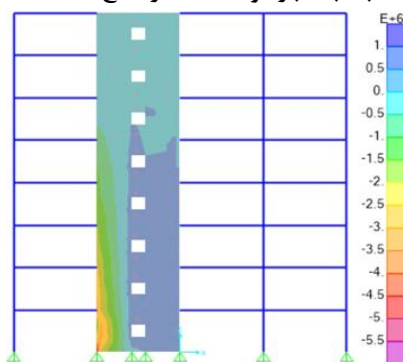
در ادامه، دیاگرام توزیع تنش در دیوار برشی چهار نمونه مورد نظر در جابجایی هدف محاسبه شده در دو سطح خطر زلزله طرح (DBE) و زلزله خیلی شدید (MCE) در شکل ۹ نشان داده شده است. مشخص است که با افزایش ابعاد باز شوها تنش در اطراف آن‌ها اندکی افزایش می‌یابد. علاوه بر آن با افزایش ابعاد باز شوها توزیع تنش بیشینه در پای دیوار اندکی افزایش و به سمت طبقات بالاتر گسترش یافته است.



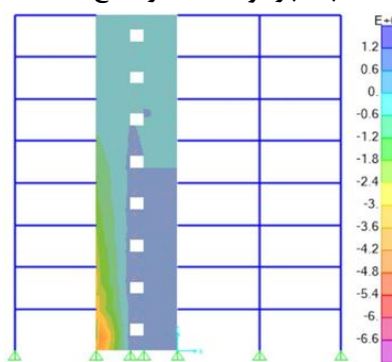
ب) ابعاد باز شو $1 \times 0/6$ در سطح DBE



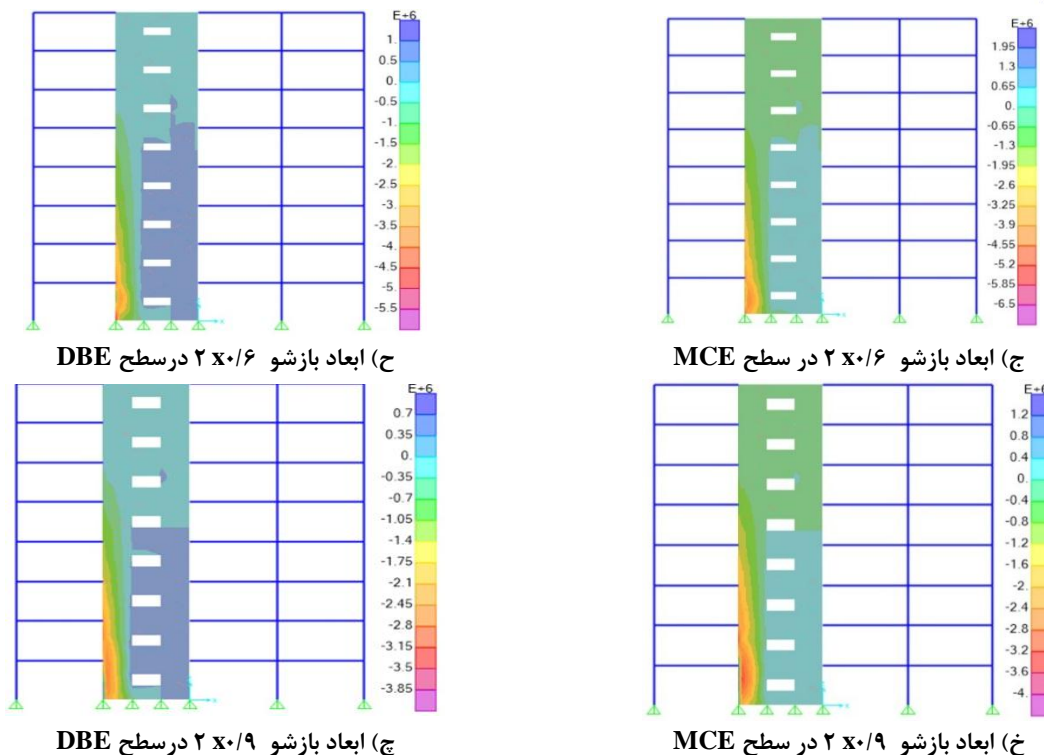
الف) ابعاد باز شو $1 \times 0/6$ در سطح MCE



ت) ابعاد باز شو $1 \times 0/9$ در سطح DBE



پ) ابعاد باز شو $1 \times 0/9$ در سطح MCE



شکل ۹: دیاگرام توزیع تنش در دیوارهای برشی فولادی کوپل با تغییرات ابعاد بازشو.

۶-۱-۱- کنترل سطوح عملکرد دیوار برشی فولادی کوپل

مطابق نشریه‌ی ۳۶۰ [۳۸] برای دیوار برشی مقادیر مجاز دوران پلاستیک برای سطح عملکرد ایمنی جانی (LS)^{۱۳} برابر ۰/۰۱۰ و آستانه فروریزش (CP)^{۱۴} معادل ۰/۰۱۵ در نظر گرفته می‌شود. مقادیر دوران پلاستیک دیوار برشی برای دو سطح خطر زلزله طرح (DBE) و حداکثر زلزله محتمل (MCE) محاسبه و نتایج در جدول‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. همان‌گونه که در جدول ۵ نشان داده شده است مقادیر دوران پلاستیک برای تمامی قاب‌های مورد بررسی در سطح خطر زلزله طرح، در حد عملکرد ایمنی جانی و همچنین مطابق جدول ۶ مقادیر دوران پلاستیک برای سطح خطر زلزله‌ی خیلی شدید در حد عملکرد آستانه فروریزش قرار گرفته‌اند.

¹³ Life Safety

¹⁴ Collapse Prevention



جدول ۵: چرخش پلاستیک دیوار برشی نمونه‌ها در سطح خطر زلزله طرح برای طبقات مختلف.

طبقات	ابعاد باز شو ۱×۰/۶			ابعاد باز شو ۱×۰/۹			ابعاد باز شو ۲×۰/۶			ابعاد باز شو ۲×۰/۹		
	تغییر مکان (cm)۱	تغییر مکان (cm)۲	چرخش پلاستیک	تغییر مکان (cm)۱	تغییر مکان (cm)۲	چرخش پلاستیک	تغییر مکان (cm)۱	تغییر مکان (cm)۲	چرخش پلاستیک	تغییر مکان (cm)۱	تغییر مکان (cm)۲	چرخش پلاستیک
۱	۱/۴۴	-۰/۶۹	۰/۰۰۴	۱/۴۲	-۰/۵۸	۰/۰۰۳	۱/۶۵	-۰/۵۵	۰/۰۰۴	۱/۶۶	-۰/۷۵	۰/۰۰۴
۲	۱/۹۳	-۰/۷۸	۰/۰۰۵	۱/۹۲	-۱/۹۸	۰/۰۰۷	۲/۱۶	-۰/۷۶	۰/۰۰۵	۲/۱	-۰/۹۱	۰/۰۰۵
۳	۲/۳۴	-۰/۹۵	۰/۰۰۵	۲/۳۵	-۰/۹۴	۰/۰۰۵	۲/۶	-۰/۹۲	۰/۰۰۶	۲/۴۷	-۱/۰۶	۰/۰۰۶
۴	۲/۳۷	-۱/۰۶	۰/۰۰۶	۲/۵۴	-۱/۰۵	۰/۰۰۶	۲/۸	-۱/۰۴	۰/۰۰۶	۲/۶۳	-۱/۱۶	۰/۰۰۶
۵	۲/۷۵	-۱/۱۴	۰/۰۰۶	۲/۷۷	-۱/۱۳	۰/۰۰۷	۳/۰۴	-۱/۱۳	۰/۰۰۷	۲/۸۲	-۱/۲۴	۰/۰۰۷
۶	۲/۶۱	-۱/۱۸	۰/۰۰۶	۲/۸۴	-۱/۱۷	۰/۰۰۷	۳/۱۱	-۱/۱۷	۰/۰۰۷	۲/۸۷	-۱/۲۷	۰/۰۰۷
۷	۲/۸۱	-۱/۱۹	۰/۰۰۷	۲/۸۴	-۱/۱۹	۰/۰۰۷	۳/۱۱	-۱/۱۸	۰/۰۰۷	۲/۸۷	-۱/۲۸	۰/۰۰۷
۸	۲/۸۱	-۱/۲	۰/۰۰۷	۲/۸۴	-۱/۱۹	۰/۰۰۷	۳/۱۱	-۱/۱۹	۰/۰۰۷	۲/۸۷	-۱/۲۹	۰/۰۰۷

جدول ۶: چرخش پلاستیک دیوار برشی نمونه‌ها در سطح خطر زلزله خیلی شدید برای طبقات مختلف.

طبقات	ابعاد باز شو ۱×۰/۶			ابعاد باز شو ۱×۰/۹			ابعاد باز شو ۲×۰/۶			ابعاد باز شو ۲×۰/۹		
	تغییر مکان (cm)۱	تغییر مکان (cm)۲	چرخش پلاستیک	تغییر مکان (cm)۱	تغییر مکان (cm)۲	چرخش پلاستیک	تغییر مکان (cm)۱	تغییر مکان (cm)۲	چرخش پلاستیک	تغییر مکان (cm)۱	تغییر مکان (cm)۲	چرخش پلاستیک
۱	۴/۵	-۱/۳۶	۰/۰۱۰	۴/۶	-۱/۳۲	۰/۰۱۰	۴/۷۸	-۱/۱۸	۰/۰۱۰	۴/۵۳	-۱/۵۸	۰/۰۱۰
۲	۵/۱۴	-۱/۵۷	۰/۰۱۱	۵/۲۷	-۱/۵۲	۰/۰۱۱	۵/۴	-۱/۳۹	۰/۰۱۱	۵/۰۸	-۱/۶۳	۰/۰۱۱
۳	۵/۶۸	-۱/۷۴	۰/۰۱۲	۵/۸۲	-۱/۷	۰/۰۱۳	۵/۹	-۱/۵۶	۰/۰۱۲	۵/۵۳	-۱/۷۹	۰/۰۱۲
۴	۵/۹۱	-۱/۸۶	۰/۰۱۳	۶/۰۵	-۱/۸۲	۰/۰۱۳	۶/۱۲	-۱/۶۹	۰/۰۱۳	۵/۷	-۱/۹	۰/۰۱۳
۵	۶/۱۸	-۱/۹۵	۰/۰۱۴	۶/۳۳	-۱/۹	۰/۰۱۴	۶/۳۸	-۱/۷۸	۰/۰۱۴	۵/۹۲	-۱/۹۸	۰/۰۱۳
۶	۶/۲۴	-۱/۹۹	۰/۰۱۴	۶/۴	-۱/۹۵	۰/۰۱۴	۶/۴۵	-۱/۸۲	۰/۰۱۴	۵/۹۶	-۲/۰۲	۰/۰۱۳
۷	۶/۲۴	-۲	۰/۰۱۴	۶/۴	-۱/۹۶	۰/۰۱۴	۶/۴۵	-۱/۸۳	۰/۰۱۴	۵/۹۶	-۲/۰۳	۰/۰۱۳
۸	۶/۲۴	-۲/۰۱	۰/۰۱۴	۶/۴	-۱/۹۷	۰/۰۱۴	۶/۴۵	-۱/۸۳	۰/۰۱۴	۵/۹۶	-۲/۰۳	۰/۰۱۳

۶-۲- تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی

در ادامه‌ی این تحقیق، تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی برای سازه‌های فولادی با سیستم دیوار برشی کوپل با تغییرات ابعاد باز شو به صورت سه بعدی تحت رکوردهای دور از گسل و نزدیک به گسل صورت پذیرفت. با انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی برای سازه‌های مذکور تحت شتاب نگاشت زلزله کوبه - ژاپن به عنوان حوزه نزدیک مقادیر حداکثر تغییر مکان نسبی، مطلق، برش طبقات و برش پایه حاصل گردید که برای قاب محور D نمونه‌های از نتایج به صورت جدول‌های ۷، ۸ و ۹ و شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است. با توجه به جدول‌ها و نمودارهای زیر میزان تغییر مکان نسبی و مطلق طبقات با افزایش ابعاد باز شو افزایش می‌یابد. همچنین میزان برش وارد بر طبقات و برش پایه با کاهش ابعاد باز شو کاهش می‌یابد که این نشانگر این مطلب است که ابعاد باز شوها بر روی رفتار لرزه‌ای دیوار برشی کوپل بسیار تاثیر گذار است.



جدول ۷: حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات با تغییرات ابعاد بازشو.

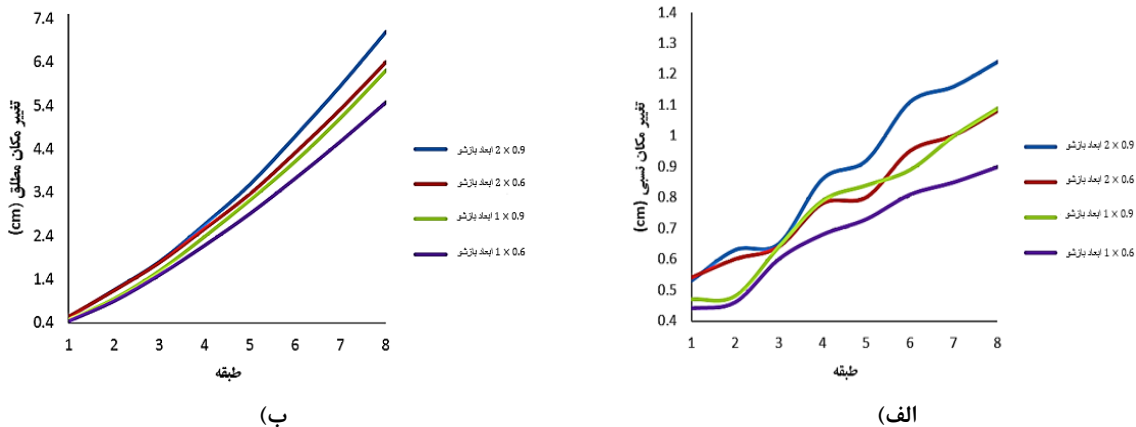
ابعاد بازشوها ۱×۰/۶	ابعاد بازشوها ۱×۰/۹	ابعاد بازشوها ۲×۰/۶	ابعاد بازشوها ۲×۰/۹	حداکثر تغییر مکان نسبی (cm)
۰/۴۴	۰/۴۷	۰/۵۴	۰/۵۳	طبقه اول
۰/۴۶	۰/۴۸	۰/۶	۰/۶۳	طبقه دوم
۰/۶	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۵	طبقه سوم
۰/۶۸	۰/۷۹	۰/۷۸	۰/۸۶	طبقه چهارم
۰/۷۳	۰/۸۴	۰/۸	۰/۹۲	طبقه پنجم
۰/۸۱	۰/۸۹	۰/۹۵	۱/۱۱	طبقه ششم
۰/۸۵	۱	۱	۱/۱۶	طبقه هفتم
۰/۹	۱/۰۹	۱/۰۸	۱/۲۴	طبقه هشتم

جدول ۸: حداکثر تغییر مکان مطلق طبقات با تغییرات ابعاد بازشو.

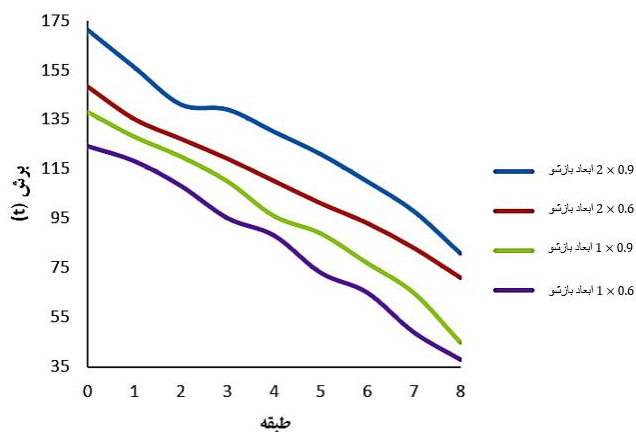
ابعاد بازشوها ۱×۰/۶	ابعاد بازشوها ۱×۰/۹	ابعاد بازشوها ۲×۰/۶	ابعاد بازشوها ۲×۰/۹	حداکثر تغییر مکان مطلق (cm)
۰/۴۴	۰/۴۷	۰/۵۴	۰/۵۳	طبقه اول
۰/۹	۰/۹۵	۱/۱۴	۱/۱۶	طبقه دوم
۱/۵	۱/۵۹	۱/۷۸	۱/۸۱	طبقه سوم
۲/۱۸	۲/۳۸	۲/۵۶	۲/۶۷	طبقه چهارم
۲/۹۱	۳/۲۲	۳/۳۶	۳/۵۹	طبقه پنجم
۳/۷۲	۴/۱۱	۴/۳۱	۴/۷	طبقه ششم
۴/۵۷	۵/۱۱	۵/۳۱	۵/۸۶	طبقه هفتم
۵/۴۷	۶/۲	۶/۳۹	۷/۱	طبقه هشتم

جدول ۹: حداکثر برش وارده بر طبقات با تغییرات ابعاد بازشو.

ابعاد بازشوها ۱×۰/۶	ابعاد بازشوها ۱×۰/۹	ابعاد بازشوها ۲×۰/۶	ابعاد بازشوها ۲×۰/۹	برش وارد بر طبقات (t)
۱۲۴	۱۳۸	۱۴۸	۱۷۱	پایه
۱۱۸	۱۲۸	۱۳۵	۱۵۶	طبقه اول
۱۰۸	۱۲۰	۱۲۷	۱۴۱	طبقه دوم
۹۵	۱۱۰	۱۱۹	۱۳۹	طبقه سوم
۸۸	۹۶	۱۱۰	۱۳۰	طبقه چهارم
۷۳	۸۹	۱۰۱	۱۲۱	طبقه پنجم
۶۵	۷۷	۹۳	۱۱۰	طبقه ششم
۴۹	۶۵	۸۳	۹۸	طبقه هفتم
۳۸	۴۵	۷۱	۸۱	طبقه هشتم

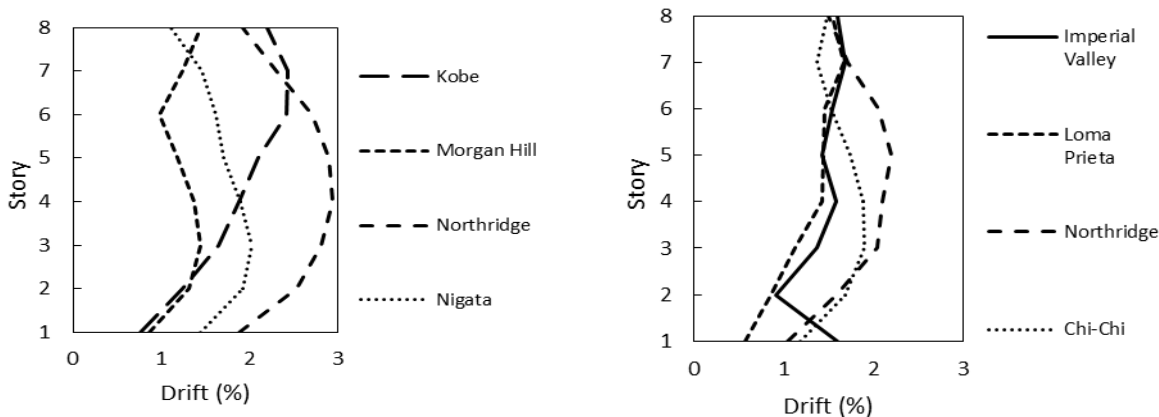


شکل ۱۰: مقایسه‌ی تغییر مکان طبقات با تغییرات ابعاد باز شو الف) تغییر مکان نسبی ب) تغییر مکان مطلق

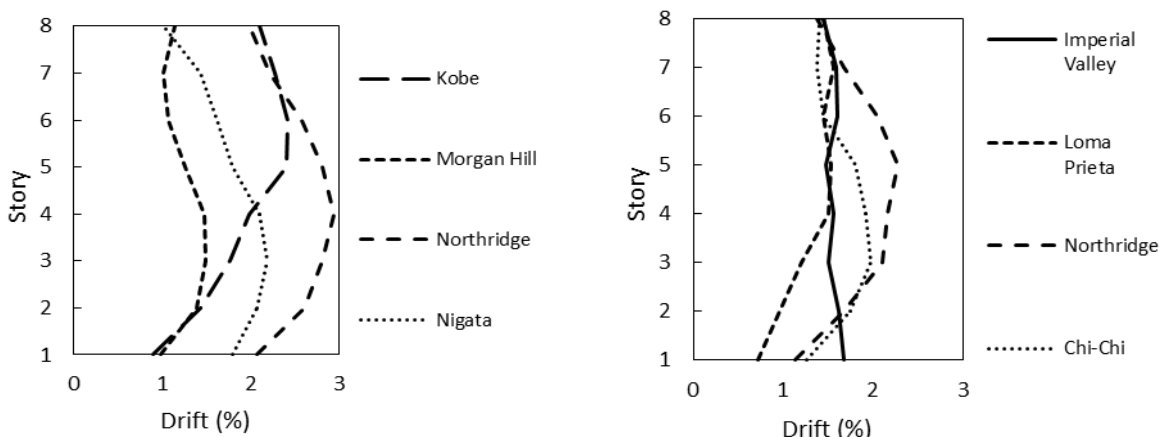


شکل ۱۱: مقایسه‌ی برش وارد بر طبقات با تغییرات ابعاد باز شو

در ادامه، نمونه‌های دیوار برشی فولادی کوپل با تغییرات ابعاد باز شو 1×0.6 و 2×0.9 با هر دسته از رکوردهای انتخابی مورد تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی قرار گرفتند. بیشینه تغییر مکان نسبی طبقات تحت هر دسته از رکوردها برای قاب‌های مذکور مطابق شکل ۱۲ نشان داده شده است.

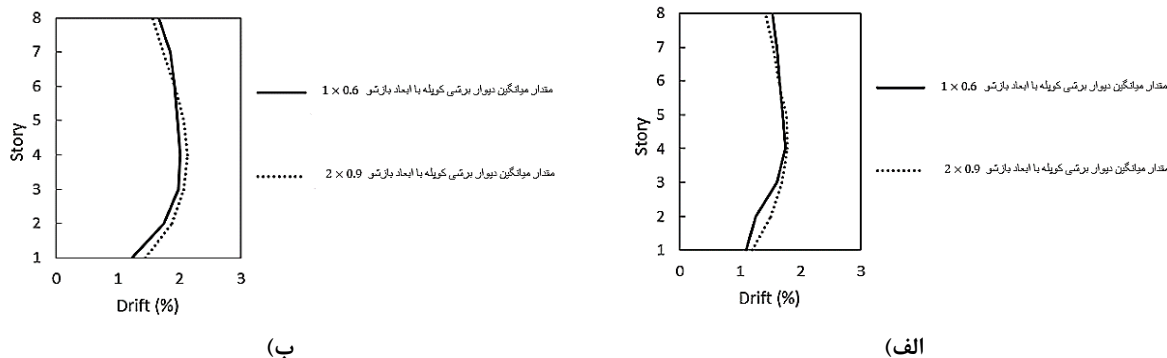


الف) دیوار برشی فولادی کوپل با ابعاد باز شو 1×6 تحت زلزله های دور از گسل
 ب) دیوار برشی فولادی کوپل با ابعاد باز شو 1×6 تحت زلزله های نزدیک به گسل



پ) دیوار برشی فولادی کوپل با ابعاد باز شو 2×9 تحت زلزله های دور از گسل
 ت) دیوار برشی فولادی کوپل با ابعاد باز شو 2×9 تحت زلزله های نزدیک به گسل
 شکل ۱۲: بیشینه تغییر مکان نسبی طبقات تحت رکوردهای مورد مطالعه.

برای مقایسه عملکرد لرزه ای قاب های مورد مطالعه، مقادیر میانگین بیشینه تغییر مکان نسبی تحت رکوردهای نزدیک و دور از گسل محاسبه گردید که نمونه ای از این منحنی ها در شکل ۱۵ نشان داده شده است. مطابق شکل ۱۳، مقادیر بیشینه تغییر مکان نسبی سازه میان مرتبه با ابعاد باز شو 2×9 نسبت به سازه با ابعاد باز شو 1×6 تحت دو مجموعه رکورد دور و نزدیک گسل بر طبقات پایین و میانی حدود ۲ درصد بیشتر می باشد که نشان دهنده ای این مطلب است که تاثیر باز شوها چندان محسوس نبوده است.



شکل ۱۳: مقایسه‌ی مقادیر بیشینه تغییرمکان نسبی بین قاب با دیوار برشی کوپل با ابعاد باز شو 1×0.6 و 2×0.9 (الف) رکوردهای دور از گسل (ب) رکوردهای نزدیک به گسل

۷- جمع بندی و نتیجه گیری

در این تحقیق، ارزیابی تأثیر تغییرات ابعاد باز شو بر عملکرد لرزه‌ای سیستم باربر جانبی دیوار برشی فولادی کوپل در ساختمان‌های فولادی تحت زلزله‌های نزدیک و دور از گسل انجام شده است. برای این منظور قاب میان مرتبه‌ی ۸ طبقه مورد مطالعه قرار گرفت. قاب‌های دوبعدی از ساختمان‌های سه بعدی ۸ طبقه انتخاب شده و با استفاده از روش تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی تحت زلزله‌های نزدیک به گسل و دور از گسل قرار گرفتند. همچنین تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی بارافزون نیز انجام پذیرفت. بنابراین مقادیر پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها در رکوردهای مورد مطالعه حاصل می‌شود و بدین ترتیب مشخص می‌شود که چه شدتی از زلزله می‌تواند باعث رسیدن سازه به حد عملکردی مشخص شود. نتایج حاصل از بررسی سازه‌های میان مرتبه فولادی با سیستم دیوار برشی فولادی کوپل با ملاحظه تغییرات ابعاد باز شو نشان داد که:

۱- میزان تغییرمکان نسبی و مطلق طبقات با افزایش ابعاد باز شوها افزایش می‌یابد. همچنین میزان برش وارد بر طبقات و برش پایه با کاهش ابعاد باز شوها کاهش می‌یابد که این نشان دهنده‌ی تأثیر زیاد ابعاد باز شوها بر رفتار لرزه‌ای دیوار برشی کوپل با در نظر گرفتن سطوح عملکرد قاب می‌باشد.

۲- سطح عملکرد همه قاب‌ها در سطح خطر زلزله‌ی طرح، در محدوده ایمنی جانی و در سطح خطر زلزله خیلی شدید، در محدوده‌ی آستانه فروریزش قرار گرفت.

۳- با افزایش ابعاد باز شو تنش در اطراف آن‌ها و همچنین پای دیوار در حدود ۲ درصد در سطح عملکرد مشابه بیشتر می‌باشد. علاوه بر آن با افزایش ابعاد باز شوها تنش بیشینه به سمت طبقات بالاتر نسبت به دیوارها با ابعاد باز شوهای کوچک‌تر گسترش می‌یابد.

۴- متوسط بیشینه تغییرمکان نسبی طبقات قاب‌ها تحت رکوردهای نزدیک گسل در حدود ۲۵ درصد نسبت به رکوردهای دور از گسل بیش‌تر شده است.

۵- بیشینه تغییرمکان نسبی قاب با ابعاد باز شو 2×0.9 تحت رکوردهای نزدیک و دور از گسل نسبت به قاب با ابعاد باز شو 1×0.6 در حدود ۲ درصد بیش‌تر شده است. بنابراین، تأثیر افزایش باز شوهای مفروض در عملکرد لرزه‌ای قاب‌ها بسیار ناچیز و قابل اغماض می‌باشد.

۶- با افزایش ابعاد باز شو از 1×0.6 به 1×0.9 در دیوار برشی تا حدی مقاومت نهایی سازه تغییر نمی‌کند اما با افزایش بیش‌تر ابعاد باز شو مقاومت نهایی قاب‌ها نهایتاً تا $2/5$ درصد کاهش یافته است.



۸- مراجع

- [1]-Gholhaki, M., Ghadaksaz, M., 2017, **Investigation of Operation of Link Beam Length in Nonlinear Dynamic Analysis of Steel Plate Shear Walls with Coupling with Rigid Joint**, Ferdowsi Civil Engineering, 30(2), 19-32. (In Persian).
- [2]-Poursha, M., Khoshnoudian, F., Moghadam, AS., 2009, **A consecutive modal pushover procedure for estimating the seismic demands of tall buildings**, Engineering Structures, 31, 591-599.
- [3]- Roberts, T. M., Sabouri-Ghomi, S., 1992, **Hysteretic characteristics of unstiffened perforated steel plate shear panels**, Thin-Walled Structure, 14(2), 139-151.
- [4]- Driver, R. G., Kulak, G. L., Kennedy, D. J. L., and Elwi, A. E., 1998, **Cyclic Test of Four-Story Steel Plate Shear Wall**, Journal of Structural Engineering, 124, 112-120.
- [5]- Harries, K. A., Moulton, J. D., and Clemson, R. L., 2004, **Parametric study of coupled wall behavior – implications for the design of coupling beams**, Journal of Structural Engineering, 130, 480-488.
- [6]- Canbolat, B. A., Parra-Montesinos, G. J., and Wight, J. K., 2005, **Experimental study on the seismic behavior of highperformance fiber reinforced cement composite coupling beams**, Structural Journal, 102(1), 159-166.
- [7]-Qu, B., and Bruneau, M., 2009, **Design of steel plate shear walls considering boundary frame moment resisting action**, Journal of Structural Engineering, 135(12), 1511-1521.
- [8]- Sabouri-Ghomi, S., Ahouri, E., Sajadi, R., Alavi, M., Roufegarinejad, A. and Bradford, M. A., 2012, **Stiffness and strength degradation of steel shear walls having an arbitrarily-located opening**, Journal of Constructional Steel Research, 79, 91-100. (In Persian).
- [9]- Hatami, S., and Gholikhani, M., 2015, **Lateral behavior of cold-formed steel framed shear walls with steel sheet sheathing using FE method**, Journal of Modeling in Engineering, 13(40), 129-150. (In Persian).
- [10]- Gholhaki, M., and Ghadaksaz, M. B., 2016, **Investigation of the link beam length of a coupled steel plate shear wall**, Steel and Composite Structures, 20 (1), 107 –125.
- [11]- Shayanfar, M., Raissi Dehkordi, A., Rezaeian, A., and Gohrrokhi, A., 2017, **Evaluation of steel plate shear walls based on performance based plastic design**. Journal of Modeling in Engineering, 15(51), 381-396. (In Persian).
- [12]- Pavir, A., and Shekastehband, B., 2017, **Hysteretic behavior of coupled steel plate shear walls**, Journal of Constructional Steel Research, 133, 19-35.
- [13]- Gorji, M., and Cheng, R., 2018, **Plastic analysis and performance-based design of coupled steel plate shear walls**, Engineering Structures, 166, 472-484.
- [14]-Sharbatdar, M., and Khosroabadi, M., 2018, **Investigation of Design Codes Reliability for Seismic Design of Steel Plate Shear Walls Consisting of Several Parameters**, Journal of Modeling in Engineering, 16(52), 277-297. (In Persian).
- [15]-Hatami, F., and Paslar, N., 2019, **Investigating the Opening Dimensions, the Stiffness of the Boundary Elements and the Type of the Infill Plate on the Behavior of Steel Plate Shear Wall**, Amirkabir Journal of Civil Engineering, 52(2), 12-21. (In Persian).
- [16]- Khizab, B., Sadeghi, A., Hashemi, S., Mehdizadeh, K., and Nasserri, H., 2020, **Investigation the performance of Dual Systems Moment-Resisting Frame with Steel Plate Shear Wall Subjected to Blast Loading**, Journal of Structural and Construction Engineering, (In Persian).



- [17]- Habibullah, A., 2015, **ETABS-Three Dimensional Analysis of Building Systems**, Manual. Computers and Structures Inc. Berkeley, California.
- [18]- Mazzoni, S., McKenna, F., Scott, M. H. and Fenves, G. L., 2006, **OpenSees Command Language Manual**, <http://OpenSEES.Berkeley.edu/OPENSEES/manuals/user manual/OpenSees Command Language Manual June 2006.pdf>.
- [19]- Saberi, V., Saberi, H., and Sadeghi, A., 2020, **Collapse Assessment of Steel Moment Frames Based on Development of Plastic Hinges**, Amirkabir Journal of Civil Engineering, (In Persian).
- [20]-Sadeghi, A., Hashemi, S., and Mehdizadeh, K., 2020, **Probabilistic Assessment of Seismic Collapse Capacity of 3D Steel Moment-Resisting Frame Structures**, Journal of Structural and Construction Engineering, (In Persian).
- [21]- Mehdizadeh, K., Karamodin, A., and Sadeghi A., 2020, **Progressive Sidesway Collapse Analysis of Steel Moment-Resisting Frames under Earthquake Excitations**, Iranian Journal of Science and Technology Transaction of Civil Engineering, 44, 1209–1221.
- [22]- FEMA P 695, 2009, Quantification of Building Seismic Performance Factors. Washington, D.C. Federal Emergency Management Agency, USA.
- [23]- Saberi, H., Saberi, V., Bayat-Sarmadi, H., and Sadeghi, A., 2021, **Investigation the Arrangement Variation of Viscous Dampers in Tall Steel Structure under Near and Far-Field Earthquakes**, New Approaches in Civil Engineering, 5(1), 20-42.
- [24]- Saberi, V., Saberi, H., Seraji, M., and Sadeghi, A., 2021, **Determining the Optimal Length of Link Beam in Eccentric Braced Frames under Near and Far-fault Earthquakes**, New Approaches in Civil Engineering, 4(4), 78-97.
- [25]-Sadeghi, A., Hashemi, S., and Mehdizadeh, K., 2020, **The Performance Investigation of Deformation and Energy Parameters in Seismic Damage Assessment of Steel Structures**, New Approaches in Civil Engineering, 3(4), 1-23.
- [26]- Sadeghi, A., Pouraminian, M., Hashemi, S., and Pournakhshian, S., 2021, **Comparison of Seismic Performance of Structural Systems Moment Frame, Concentric Braced Frame and Buckling Restrained Braced Frame Using Damage Index**, New Approaches in Civil Engineering, 5(1), 1-19.
- [27]- Saberi, H., Saberi, V., Vali, F., Farajpour, N., Sadati, Z., Razgordani, M., and Sadeghi, A., 2021, **Investigation the Accuracy of Static Analysis Method in Comparison with Spectral Dynamic and Time History Analyses in Steel Structures with Mass Irregularity**, New Approaches in Civil Engineering, 5(1), 43-56.
- [28]-Next Generation Attenuation of Ground Motion (Nga) Project.(2006). <http://Peer.Berkeley.Edu/nga>(Accessed 10 October 2006).
- [29]-Baker, J. W., 2007, **Plots of Indented Velocity Pulses**, Department of Civil and Environmental Engineering. Stanford University, Stanford, CA 94305, USA.
- [30]- BHRC, 2014, **Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings**, Tehran: Building and Housing Research Centre, Standard No. 2800. (In Persian).
- [31]- INBC, 2013, **Design and Construction of Steel Structures**, Tehran: Ministry of Housing and Urban Development, Iranian National Building Code, Part 10. (In Persian).
- [32]- INBC, 2013, **Design Loads for Buildings**, Tehran: Ministry of Housing and Urban Development, Iranian National Building Code, Part 6. (In Persian).



- [33]- ASCE 7., 2016, **Minimum design loads for buildings and other structures**, New York: American Society of Civil Engineers.
- [34]- Kim, J., Park, J., and Lee, T., 2011, **Sensitivity analysis of steel buildings subjected to column loss**, Engineering Structures, 33(2), 421-432.
- [35]- Sadeghi, A., Kazemi, H., and Samadi, M., 2022, **The Probabilistic Analysis of Steel Moment-Resisting Frame Structures Performance under Vehicles Impact**, Amirkabir Journal of Civil Engineering, 53(12), 16-16.
- [36]- Li, C. H., Tsai, K. C., and Chang, J. T., 2011, **Cyclic Test of a Coupled Steel Plate Shear Wall Substructure**, The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction.
- [37]- FEMA 356., 2000, **Pre-Standard and Commentary for the seismic Rehabilitation of Buildings**, Washington D.C. Federal Emergency Management Agency, USA.
- [38]- Commentary of Instruction for seismic Rehabilitation of Existing Buildings NO: 360.