**بسمه تعالی**

**پاسخ به سوالات داوران محترم مقاله با کد ID:73550 تحت عنوان "** **ارزیابی رفتار الگوی اتصال دیوار برشی فولادی بمنظور بهبود عملکرد لرزه‌ای"**

با عرض سلام و احترام خدمت سردبیر محترم مجله علمی-پژوهشی عمران مدرس دکتر مسعود قدسیان

در ابتدا بر خود لازم مي­دانم از سردبیر محترم مجله عمران مدرس و همچنین داوران گرانقدر که زحمت بازخوانی این مقاله را بر عهده داشته‌اند و نظرات ارزشمندی را بیان نموده‌اند، کمال تشکر و قدرداني را داشته باشم. مقاله مجدداً مورد بررسی قرار گرفته و ابهامات فنی و ایرادت نگارشی برطرف شده است. جهت رفع ابهامات فنی بوجود آمده ذکر نکات زیر به تفکیک سوالات مطرح شده ضروری می باشد. لازم بذکر است تمامی تغییرات انجام شده بر روی مقاله، جهت بررسی با رنگ زرد مشخص شده است.

داور 1:

1- نتایج ارائه شده در چکیده به صورت کمی باشند.

**پاسخ**: طبق تشکر از نظر داور محترم، در بخش چکیده تجدید نظر شد.

2- فلوچارتی مدون و هدفمند از روند انجام مقاله را در انتهای بخش 1 قرار دهید.

**پاسخ**: با تشکر از نظر داور محترم، فلوچارتی جهت ارائه روند انجام مقاله به انتهای بخش 1 اضافه گردید.

3- نحوه دستیابی به پروتکل شکل 8 را ارائه دهید.

پاسخ: مطابق نظر داور محترم در بخش 5، بعد از شکل 8 نحوه محاسبه پروتکل ارائه شده است.

4- مراجع زیر به متن اضافه شوند.

\*Investigation of subpanel size effect on behavior factor of stiffened steel plate shear wall. Journal of structural and construction engineering 5(4), 73-87, 2019.

\*Modeling and analysis of thin steel plate shear walls using the new method. 2nd international conference on civil engineering, architecture & urban.

\*capacity spectrum of SPSW using pushover and energy method without need for calculation of target point, structures 26, 516-523, 2023.

\*effect of Ni-Ti shape memory alloy on ductility and response modification factor of SPSW system, steel and composite structures 48(3), 353-365, 2023.

**پاسخ**: مطابق با نظر داور محترم، رفرنس های فوق به مقاله اضافه گردید.

**داور 2 :**

1- عنوان مقاله مناسب نیست و به خوبی گویای مطالب ارائه شده در متن نیست .

**پاسخ**: ضمن تشکر از راهنمایی داور محترم، عنوان مقاله اصلاح شده است.

2- در ابتدای بخش دوم ذکر شده است که به بررسی تاثیر تنش یکنواخت بر عملکردسستم دیوار برشی فولادی پرداخته شده است. منظور از تنش یکنواخت چیست؟

**پاسخ**: مطابق نظر داور محترم، توضیحات مربوطه در بخش دوم اضافه گردیده است.

3- در جدول 1 ضخامت ورق فولادی و تنش در لحظه کمانش صفحات آورده شده است. این مقادیر چطور تعیین شده اند؟ چرا ضخامت اعشاری ماندد 86/2 برای ورق انتخاب شده است؟ مقادیر تنش چظور محاسبه شده اند؟ چرا تنش در حالت ST بسیار کمتر از دو حالت دیگر است؟ (حدود 01/0 دو حالت دیگر)

**پاسخ**: ضمن تشکر از نظر داور محترم، به منظور رسیدن به تنش یکسان در لحظه وقوع کمانش در سیستم دیوارهای برشی در ارتفاع سازه، ضخامت صفحات انتخاب شده اند و اعداد تنش به دست آمده تنش فون میسز صفحات فولادی در لحظه وقوع کمانش صفحه میباشد.

4- مشخصات اعضای قاب بتنی شامل ابعاد و میلگردها ارائه نشده است.

**پاسخ**: مطابق نظر داور محترم، در انتهای بخش دوم مشخصات مربوط به نمونه های مدلسازی شده ارائه شده است.

5- پارامترهای جدول 2 معرفی نشده اند.

**پاسخ**: علائم انگلیسی و یونانی استفاده شده در انتهای مقاله (قبل از بخش مراجع) معرفی شده اند.

6- روش مدلسازی اعضای قاب و ورق فولادی تشریح نشده است. اعضای قاب با چه المانی مدل شده اند؟ چه مدل مصالحی برای فولادی در نظر گرفته شده است؟.

**پاسخ**: ضمن تشکر از داور محترم برای طرح این نکته، اطلاعات موردنظر به طور مختصر در مقاله ذکر گردیده است همچنین توضیحات تکمیلی به متن مقاله اضافه گردید. جدول 2 مشخصات بتن مصرفی میباشد.

7- نگارش دو ستونی مقاله ایراد دارد. مثلا به نگارش در صفحه 8 و ترتیب ارائه مطالب چهاربخش صفحه توجه شود. ادامه مطالب ستون بالا سمت چپ ، در ستون پایین سمت راست آمده است.

**پاسخ**: با تشکر از ذکر این نکته، مقاله بازخوانی و اصلاح گردید.

8- به طور کلی میتوان گفت نگارش مقاله نیاز به اصلاح دارد. مطالب به شکل مبهم ارائه شده اند و به شکل مناسب و با جزئیات کافی ارائه نشده اند.

**پاسخ**: ضمن تشکر از داور محترم برای طرح این نکته، مقاله بازخوانی و ویرایش شده است.

داور 3:

1- لطفا در زمینه تهیه اشکال آورده شده تجدید نظر انجام شود. چون اکثر اشکال دارای سایه و کم رنگ میباشند. نوشتار مقاله خوب تهیه شده است.

**پاسخ**: ضمن تشکر از نظر داور محترم ، کیفیت اشکال استفاده شده طبق فرمت مجله اصلاح گردیده است.

**بررسی تاثیر الگوی اتصال دیوار برشی فولادی بر روی بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه**

علی بیگلری فدافن 1\* ، زهرا علی‌عرب 2

1 استادیار گره عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

2 کارشناسی ارشد سازه، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

**چکیده**

در این پژوهش به بررسی رفتار و عملکرد سیستم جانبی دیوار برشی فولادی با در نظر گرفتن الگوی اتصال جزئی پرداخته شده است. به این منظور قاب‌های بتنی 3 و 4 طبقه دارای سیستم دیوار برشی فولادی با بکارگیری نرم افزار المان محدود آباکوس مدلسازی شدند. ابتدا اتصال صفحات برشی فولادی بصورت سرتاسری به تیرهای طبقات در نظر گرفته شد و سپس به بررسی تاثیر الگوی اتصال به صورت جزئی روی عملکرد لرزه‌ای سیستم دیوار برشی فولادی پرداخته شد. قاب‌های مدلسازی شده تحت تحلیل دینامیکی، تحلیل خطی و غیرخطی کمانشی و تحلیل سیکلی قرار گرفتند. براساس نتایج به دست آمده خاصیت استهلاک انرژی در قاب دارای سیستم دیوار برشی فولادی با اتصال جزئی افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است. تغییر الگوی اتصال جزئی، منجر به تغییر در ماکزیمم جابجایی نسبی درون صفحه گردید. بطوریکه در قاب 3 طبقه بیشتر از 4 برابر و در قاب 4 طبقه بیش از 7 برابر موجب افزایش ماکزیمم جابجایی نسبی درون صفحه شده است. همچنین، سطح توزیع تنش‌ها نشان می‌دهد که در اتصال جزئی تمرکز تنش عمدتا در محل اتصالات صفحه برشی فولادی رخ داده است. علاوه بر این، طبق نتایج تحلیل سیکلی، در نظر گرفتن اتصال جزئی دیوار برشی فولادی منجر به کاهش متوسط انرژی جذب شده در سازه و افزایش شکل‌پذیری آن شده است. همچنین، تغییر الگوی اتصال روی مقدار متوسط انرژی جذب شده در سیکل‌های مختلف بارگذاری تاثیرگذار بوده است.

**کلمات کلیدی:** اتصال جزئی، صفحه فولادی، بارگذاری برشی، جذب انرژی، تحلیل المان محدود.

# **1- مقدمه**

از موارد استفاده صفحات فولادی در مهندسی سازه می‌توان به اصول مهندسی پل، دیوارهای برشی فولادی، جان تیرهای همبند در مهاربندی واگرا، تیرورق‌ها و شاهتیرهای جعبه‌ای اشاره کرد [1]. هزینه کمتر در اجرا، قابلیت جذب انرژی و شکل‌پذیری قابل توجه، مقاومت و سختی اولیه بالا، سرعت بالای اجرا و کاهش جرم لرزه‌ای از مزایای سیستم دیوار برشی فولادی نسبت به سایر سیستم‌های سازه‌ای می‌باشند [2] [3] [4]. با توجه به مزایا و گسترش کاربرد‌های این سیستم سازه‌ای از گذشته تا به امروز پژوهش‌های زیادی در خصوص رفتار و عملکرد دیوارهای برشی فولادی از طریق روش‌های آزمایشگاهی، تئوری و عددی انجام شده است.پژوهشگران با استفاده از نرم‌افزارهای المان محدود و روش‌های عددی به مطالعه رفتار صفحات تحت بار برشی پرداخته‌اند. در نهایت با ارائه منحنی‌های تغییرشکل داخل صفحه و خارج از صفحه و منحنی‌های هیسترزیس، کمانش، تسلیم، جذب انرژی و شکل‌پذیری صفحات با مصالح و ضخامت‌های متفاوت را مورد بررسی قرار داده‌اند. از جمله می‌توان به بررسی‌های انجام شده توسط درایور و همکاران [5]، لوبل و همکاران [6]، ذوقی و میرطاهری [7]،گرجی و همکاران [8]، چن و همکاران [9]، کی آئو و همکاران [10]، ما و لیو [11]، فان و همکاران [12]، پاچیده و همکاران [13]، قلهکی و همکاران [14] [15] و پژوهش خسروی خور و همکاران [16] در سال 2023 اشاره کرد. براساس دستورالعمل آشتو [17] صفحات فولادی برشی با توجه به نسبت لاغری‌شان به سه دسته لاغر، متوسط و ضخیم تقسیم‌بندی می‌شوند. در صفحات لاغر، ظرفیت کمانش برشی صفحه () کوچکتر از ظرفیت برشی حد خطی آن () است (کمانش در محدوده الاستیک رخ می‌دهد). در صفحات متوسط، ظرفیت کمانش برشی صفحه () بین ظرفیت برشی حد خطی () و ظرفیت اسمی تسلیم برشی () قرار می‌گیرد (کمانش در محدوده غیرالاستیک رخ می‌دهد). در صفحات ضخیم نیز ظرفیت کمانش برشی صفحه () بزرگتر از ظرفیت اسمی تسلیم برشی آن () است (کمانش در محدوده پلاستیک رخ می‌دهد) [17]. طراحی مطلوب و بهینه دیوارهای برشی فولادی لاغر، که در گروه سازه‌های جدارنازک قرار می‌گیرند، منجر به مقاومت پس از کمانش مناسبی در این نوع سیستم خواهد شد [18]. ظرفیت برشی یک دیوار پرکننده به واسطه صلبیت اعضای قاب پیرامونی تغییر می‌کند [19]. در مراحل اولیه بارگذاری صفحات پرکننده بخش قابل توجهی از برش طبقه را جذب می‌کنند. سپس با توسعه تسلیم قطری در صفحه، اعضای قاب مرزی سهم بیشتری در برش طبقه خواهند داشت [20]. علاوه براین، مطالعاتی در خصوص پایداری المان‌های صفحه‌ای و طراحی صفحات جان، و بطور ویژه، صفحات تقویت نشده که در معرض بار‌های برشی قرار می‌گیرند [21]، و به طور خلاصه در مورد المان‌های صفحه‌ای و اعضایی که در معرض کمانش موضعی قرار دارند، صورت گرفته است [22]. نتایج مطالعات گرجی و همکاران در سال 2021 [23] طی بارگذاری‌های یکنواخت و سیکلی نشان داد که اتصال صلب تیر به ستون می‌تواند عملکرد سیستم دیوار برشی فولادی را بهبود ببخشد و با انتخاب ابعاد مناسب المان‌های پیرامونی، به خصوص المان‌های قائم، ظرفیت نهایی دیوار برشی فولادی را 35%-5 افزایش دهد. طبق مدل‌های رفتاری که طی مطالعات عددی و تحلیلی در آنالیز استاتیکی و دینامیکی دیوارهای برشی فولادی پیشنهاد شده است، صفحه پرکننده به عنوان فیوز در سازه عمل می‌کند و با ورود به ناحیه غیرخطی از طریق تغییرشکل‌های برشی پلاستیک سبب جذب انرژی سیستم می‌شود. علاوه بر این تنش ناشی از میدان کششی قطری در صفحه پرکننده حائز اهمیت است و می‌تواند بر المان‌های مرزی افقی و قائم (HBE و VBE) دیوارهای برشی فولادی و تعیین ابعاد مقاطع آنها تاثیرگذار باشد. جهت کاهش اثر میدان کششی روش‌هایی مانند استفاده از صفحات دارای بازشو [24] [25]، صفحات دارای شکاف [26] [27] و استفاده از فولاد با نقطه تسلیم پایین در صفحه پرکننده پیشنهاد شده است [8]. از روش‌های قابل توجه در کاهش وزن و سختی دیوارهای برشی فولادی و المان‌های مرزی متصل به آنها، محدود کردن اتصال صفحات پرکننده به المان‌های مرزی می‌باشد. در این روش محدود کردن طول اتصال باعث کاهش نیروی وارده به تیرها و ستون‌ها می‌شود و در نتیجه می‌توان از مقاطع کوچک‌تری استفاده کرد [28]. بررسی‌های آزمایشگاهی در سال 2011 [29] در مورد رفتار دیوارهای برشی فولادی در حالتی که صفحات پر کننده فقط به المان‌های افقی پیرامونی متصل باشند انجام شد. در این پژوهش دو سیستم دیوار برشی فولادی با مقیاس 1:3 تحت آزمایش قرار گرفتند. در یکی از نمونه‌ها لبه‌های ورق جان آزاد بوده و در نمونه آزمایشگاهی دیگر لبه‌های ورق پرکننده با سخت‌کننده‌ها تقویت شده بودند. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که صفحات جان متصل به تیر از قابلیت شکل‌پذیری و ظرفیت جذب انرژی خوبی برخوردار هستند. ظرفیت جذب انرژی در صفحه جان تقویت شده بیشتر از صفحه جان تقویت نشده بود. با این حال، سخت‌کننده‌ها بر ظرفیت نهایی و پارامتر شکل‌پذیری موثر نبودند. در پژوهشی که در سال 2017 صورت گرفت [28] با هدف کاهش آسیب ناشی از توسعه میدان کششی به المان‌های مرزی، دیوارهای برشی فولادی به صورت محدود در گوشه‌ها، به المان‌های مرزی متصل شدند. نتایج ارائه شده نشان دادند که نمونه‌های پیشنهادی عملکرد خوبی از نظر سختی اولیه، برش، شکل‌پذیری و جذب انرژی دارا می‌باشند. پژوهش‌های انجام شده در سال‌های 2017 و 2018 [30] [31] نشان داد که دیوارهای برشی فولادی با صفحات جان متصل به تیر رفتار لرزه‌ای خوبی از خود نشان دادند و می‌توان آنها را به عنوان سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی در مناطق با سطوح با لرزه‌خیزی متوسط و پایین بکار گرفت. هدف از یک طراحی مطلوب آن است که در کنار رعایت ضوابط و دستوالعمل‌های موجود و در نتیجه رسیدن سازه به مقاومت لرزه‌ای مطلوب، سازه از لحاظ وزن و هزینه مقرون بصرفه باشد [32]. برمبنای مطالعات صورت گرفته و با توجه به اینکه طبق طراحی بر اساس کنترل نیرو نمی‌توان به استفاده بهینه از ظرفیت سازه دست یافت، تئوری تغییر شکل‌های یکنواخت با فرض سطح عملکرد ثابت مطرح گردید [33]. یکی از مهم‌ترین و چالش برانگیزترین موضوعات در زمینه مهندسی سازه طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله بر مبنای روش طراحی بر مبنای عملکرد می‌باشد [34]. مبحث طراحی برمبنای عملکرد (PBD) سبب افزایش ایمنی سازه در برابر نیروی زلزله و طراحی با عملکرد لرزه‌ای مطلوب در طول عمر مفید سازه در نواحی لرزه‌خیز می‌گردد. همچنین نسبت به روش طراحی براساس کنترل نیرو می‌تواند منجر به طراحی سبک‌تر و مقرون بصرفه‌ای از لحاظ اقتصادی باشد. در این پژوهش به منظور دستیابی به سطح عملکرد مطلوب، دو قاب بتنی دارای سیستم مقاوم دیوار برشی فولادی تحت آنالیز غیرخطی قرار می‌گیرند. سپس ارزیابی اولیه رفتار و درستی آزمایی روش استفاده شده، بررسی می‌گردد. پس از آن به بررسی عوامل موثر در رسیدن به تنش یکنواخت در ارتفاع سازه پرداخته خواهد شد. به این منظور با استفاده از تاثیر پارامتر ضخامت و ارائه الگوی مناسب اتصال صفحه فولادی برشی به المان‌های پیرامونی نحوه تغییر عملکرد و رفتار سازه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

در ادامه به معرفی نحوه مدلسازی و آنالیز، بررسی نتایج به دست آمده و ارائه نتایج برجسنه این پژوهش پرداخته شده است. در شکل 1، فلوچارت مربوط به روند انجام این پژوهش نشان داده شده است.

|  |
| --- |
| **Fig 1. Flowchart process of doing the article** |
|  |
| **شکل 1. فلوچارت روند انجام مقاله** |

# **2- مدلسازی**

در این پژوهش به بررسی تاثیر تنش یکنواخت بر عملکرد سیستم باربر دیوار برشی فولادی پرداخته شده است. منظور از تنش یکنواخت در این مقاله رسیدن دیوارهای برشی فولادی سیستم سازه­ای به تنش نسبتا یکسان در لحظه وقوع کمانش می­باشد. به این منظور دو قاب بتنی 3 طبقه و 4 طبقه، با سیستم باربر دیوار برشی فولادی با استفاده از نرم افزار المان محدود ABAQUSTM تحت آنالیز قرار گرفته‌اند. دیوارهای برشی فولادی از نوع المان Shell و تیرها و ستون­ها از نوع المان Solid انتخاب شده­اند. در این بررسی صفحات برشی فولادی هیچگونه اتصالی به ستون‌های طبقات ندارند و فقط به تیرها متصل شده اند. ابتدا به بررسی اتصال سرتاسری صفحات فولادی دارای ضخامت‌های متغیر به تیرهای طبقات پرداخته شده است (**F**ull **P**late-**FP**). سپس با استفاده از نبشی‌های 20 سانتی‌متری در ابتدا و انتهای صفحه، اتصال صفحات برشی به تیرهای طبقات محدود شده است (**E**nd **S**tart-**ES**).در مرحله بعدی ضخامت صفحات برشی فولادی ثابت (2میلیمتر) در نظر گرفته شده و محل قرارگیری نبشی‌های اتصال در ارتفاع سازه متغیر می‌باشد (**S**ame **T**hickness-**ST**) (شکل 1).تمام تلاش‌های صورت گرفته در هر سه حالت جهت دستیابی به تنش ثابت در صفحات برشی فولادی در ارتفاع سازه صورت گرفته است. . در مدلسازی­های انجام شده ارتفاع طبقات 3 متر و دهانه­ها 5 مر در نظر گرفته شده است. مقاطع تیر و ستون بتنی مورد استفاده به ابعاد 30 سانتی‌متر و با در نظر گرفتن حداقل آرماتور مجاز انتخاب شده است. ضخامت دیوارهای برشی فولادی به نحوی انتخاب شده است که کمانش صفحات فولادی در طبقات مختلف سازه در تنشی یکسان رخ دهد. با توجه به ضخامت‌های انتخاب شده رفتار دیوارهای برشی فولادی در محدوده کمانش الاستیک (صفحات فولادی لاغر و بسیار لاغر)می‌باشد [17] [35]. جدول1 ضخامت‌های مورد استفاده در قاب‌های بتنی و مقدار تنش را در لحظه کمانش صفحات فولادی نشان می‌دهد علاوه بر این هر 4 قاب مورد بررسی تحت انواع تحلیل‌های کمانشی (خطی و غیرخطی)، دینامیکی و سیکلی قرار گرفته‌اند. جدول 2 مشخصات فولاد استفاده شده در مدلسازی دیوارهای برشی فولادی را نشان می‌دهند. در شکل 2 الگوی قرارگیری نبشی‌های اتصال در قاب‌های مدلسازی شده به صورت شماتیک نشان داده شده است.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Table 1: Thickness of steel shear plates used in modeling and plate stress in buckling moments** | | | | | | | |
|  |  | **ES Connection** | | **Connection ST** | | **FP Connection** | |
|  | Stories Number | t (mm) | (MPa) | t (mm) | (MPa) | t (mm) | (MPa) |
| 3-story frame | 1 | 2.05 | 615.3 | 2 | 6.0 | 2.7 | 543.3 |
| 2 | 2 | 650.2 | 2 | 6.3 | 2.86 | 528 |
| 3 | 2.18 | 652.8 | 2 | 6.4 | 1.94 | 532.5 |
| 4-story Frame | 1 | 2.1 | 683.6 | 2 | 6.4 | 2.5 | 501.1 |
| 2 | 2 | 695.2 | 2 | 6.4 | 3.2 | 500.7 |
| 3 | 2 | 680.7 | 2 | 6.3 | 3.05 | 503.6 |
| 4 | 1.73 | 687.1 | 2 | 6.1 | 1.8 | 504.5 |
| **جدول 1: ضخامت صفحات برشی فولادی استفاده شده در مدلسازی و تنش صفحات در لحظه کمانش** | | | | | | | |

|  |  |
| --- | --- |
| **Fig 2: How to place the corners in the place where the steel plates are connected to the beams** | |
| C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\44.jpg | C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\42.jpg |
| **الف) قاب 3 طبقه، ضخامت صفحات فولادی ثابت و محل قرارگیری نبشی‌ها متغیر** (**ST**) | **ب) قاب 3 طبقه، ضخامت صفحات فولادی متغیر و محل قرارگیری نبشی‌ها ثابت (ES)** |
| C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\43.jpg | C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\41.jpg |
| **ج) قاب 4 طبقه، ضخامت صفحات فولادی ثابت و محل قرارگیری نبشی‌ها متغیر** (**ST**) | **د) قاب 4 طبقه، ضخامت صفحات فولادی متغیر و محل قرارگیری نبشی‌ها ثابت (ES)** |
| **شکل 2: نحوه قرارگیری نبشی‌ها در محل اتصال صفحات فولادی به تیرها** | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Table 2: St37 characters** | | | | | | | |
|  | (MPa) | (MPa) | (MPa) | (MPa) | (GPa) | E (GPa) |  |
| 0.3 | 124.1 | 215 | 138.6 | 240 | 0.9 | 210 | St 37 |
| **جدول2: مشخصات فولاد ساختمانی** | | | | | | | |

# **3- ارزیابی اولیه رفتار و درستی‌آزمایی مدلسازی**

به منظور ارزیابی اولیه و صحت سنجی مدلسازی انجام شده، سیستم دیوار برشی فولادی با اتصال جزئی در قاب سه طبقه بتن آرمه با استفاده از نرم‌افزار المان محدود ABAQUSTM تحت آنالیز قرار گرفت. در قاب مدلسازی شده با استفاده از شتابنگاشت زمین‌لرزه السنترو تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی صورت گرفت. نتایج به دست آمده با نتایج پژوهشی که اخیرا انجام شده [36] مقایسه گردید. در پژوهش قبلی [36] سیستم دیوار برشی فولادی با اتصال سرتاسری و اتصال جزئی به منظور رسیدن به جابجایی نسبی داخل صفحه یکنواخت تحت آنالیز غیرخطی تاریخچه زمانی قرار گرفتند. نتایج به دست آمده در شکل 3 درستی مدلسازی صورت گرفته را در پژوهش حاضر نشان می‌دهد.

|  |
| --- |
| **Fig 3: The result of simulation verfication have been done** [36] |
| C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\14.jpg | |
| C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\15.jpg | |
| **شکل 3: نتایج درستی‌آزمایی شبیه سازی انجام شده** [36] |

**4- ارائه نتایج**

در شکل های 4-الف و 4-ب نتایج مربوط به برش پایه و در شکل های 4-پ و 4-ت نتایج مربوط به ماکزیمم جابجایی داخل صفحه بر حسب زمان نشان داده شده است. مدل‌ها تحت تحلیل دینامیکی قرار گرفته‌اند. طبق نتایج به دست آمده، در حالت کلی هم در قاب 3 طبقه و هم در قاب 4 طبقه با محدود کردن اتصال دیوارهای برشی فولادی به تیرهای طبقات خاصیت میرایی و استهلاک انرژی در سازه افزایش یافته است. در شکل‌های 4-پ و 4-ت با تبدیل اتصال از حالت سرتاسری به حالت جزئی مقدار جابجایی نسبی داخل صفحه، هم در قاب 3 طبقه و هم در قاب 4 طبقه افزایش یافته است. همچنین، در سازه 4 طبقه شکل 4-ت در حالت اتصال جزئی ST نسبت به اتصال جزئی ES مقدار جابجایی نسبی داخل صفحه افزایش بیشتری داشته است.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Fig 4: Comparison of relative in-plane displacement and base shear in 3 modes of partial connection and end-to-end connection** | | |
| C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\16.jpg | C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\17.jpg | C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\18.jpg |
| **الف-1) اتصال جزئی ST** | **الف-2) اتصال جزئی ES** | **الف-3) اتصال سرتاسری FP** |
| **الف) برش پایه در قاب 3 طبقه برای سه حالت اتصال جزئی (ES , ST) و اتصال سرتاسری (FP)** | | |
| C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\19.jpg | C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\20.jpg | C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\21.jpg |
| **ب-1) اتصال جزئی ST** | **ب-2) اتصال جزئی ES** | **ب-3) اتصال سرتاسری FP** |
| **ب) برش پایه در قاب 4 طبقه برای سه حالت اتصال جزئی (ES , ST) و اتصال سرتاسری (FP)** | | |
| **C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\22.jpg** | **C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\23.jpg** | **C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\24.jpg** |
| **پ-1) اتصال جزئی ST** | **پ-2) اتصال جزئی ES** | **پ-3) اتصال سرتاسری FP** |
| **پ) ماکزیمم جابه‌جایی نسبی داخل صفحه (دریفت) در قاب 3 طبقه برای سه حالت اتصال جزئی (ES , ST) و اتصال سرتاسری (FP)** | | |
| **C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\25.jpg** | **C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\26.jpg** | **C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\27.jpg** |
| **ت-1) اتصال جزئی ST** | **ت-2) اتصال جزئی ES** | **ت-3) اتصال سرتاسری FP** |
| **ت) ماکزیمم جابه‌جایی نسبی داخل صفحه (دریفت) در قاب 4 طبقه برای سه حالت اتصال جزئی (ES , ST) و اتصال سرتاسری (FP)** | | |
| **شکل 4: مقایسه جابه‌جایی نسبی داخل صفحه (دریفت) و برش پایه در 3 حالت اتصال جزئی (ES , ST) و اتصال سرتاسری (FP)** | | |

شکل 5 و 6، توزیع تنش و تغییرشکل‌های خارج از صفحه را در قاب‌های 3 طبقه و 4 طبقه نشان می‌دهد. در حالت کلی با ایجاد اتصال جزئی دیوارهای برشی فولادی تمرکز تنش در گوشه‌های اتصال می‌باشد و با توجه به توسعه میدان کششی توزیع تنش قطری در ارتفاع سازه ایجاد می‌شود.

|  |  |
| --- | --- |
| **Fig 5: Showing stress distribution and out-of-plane deformetions in a 3 stories frame** | |
| C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\1.jpg | C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\2.jpg |
| **الف) تغییرشکل خارج از صفحه در اتصال سرتاسری (FP)** | **ب) توزیع تنش در اتصال سرتاسری (FP)** |
| C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\3.jpg | C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\4.jpg |
| **پ) تغییرشکل خارج از صفحه در اتصال جزئی (ES)** | **ت) توزیع تنش در اتصال جزئی (ES)** |
| **C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\5.jpg** | **C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\6.jpg** |
| **ث) تغییرشکل خارج از صفحه در اتصال جزئی (ST)** | **ج) توزیع تنش در اتصال جزئی (ST)** |
| **شکل 5: نمایش توزیع تنش و تغییرشکل‌های خارج از صفحه در قاب 3 طبقه** | |

در قاب 4 طبقه در طبقه 4 ام، سطح توزیع تنش نسبت به طبقات پایین تر بسیار گسترده‌تر می‌باشد. به علت اینکه طبق تحلیل خطی کمانشی انجام شده ضخامت صفحات بر مبنای توزیع تنش یکنواخت در لحظه وقوع کمانش انتخاب شده‌اند. با توجه به جدول 1 نسبت لاغری صفحه برشی فولادی در این طبقه به گونه‌ای است که در صفحه فولادی در محدوده رفتاری بسیار لاغر قرار می‌گیرد [37] و تغییر توزیع تنش در این طبقه براساس مطالعاتی که در گذشته انجام شده می‌تواند ناشی از تفاوت رفتاری صفحات فولادی لاغر و بسیارلاغر باشد.

|  |  |
| --- | --- |
| **Fig 6: Showing stress distribution and out of plane deformations in a 4 stories frame** | |
| C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\7.jpg | C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\8.jpg |
| **الف) تغییرشکل خارج از صفحه در اتصال سرتاسری (FP)** | **ب) توزیع تنش در اتصال سرتاسری (FP)** |
| C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\9.jpg | C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\10.jpg |
| **پ) تغییرشکل خارج از صفحه در اتصال جزئی (ES)** | **ت) توزیع تنش در اتصال جزئی** (**ES**) |
| **C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\11.jpg** | **C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\12.jpg** |
| **ث) تغییرشکل خارج از صفحه در اتصال جزئی (ST)** | **ج) توزیع تنش در اتصال جزئی** (**ST**) |
| **شکل 6: نمایش توزیع تنش و تغییرشکل‌های خارج از صفحه در قاب 4 طبقه** | |

|  |
| --- |
| **Fig 7: Maximum relative displacement inside the plane in different floors** |
| C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\28.jpg |
| **الف) قاب 3 طبقه** |
| C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\29.jpg |
| **ب) قاب 4 طبقه** |
| **شکل 7: ماکزیمم جابجایی نسبی داخل صفحه در طبقات مختلف** |

در شکل 7 ماکزیمم جابجایی نسبی داخل صفحه در طبقات مختلف در مدل‌های 3 و 4 طبقه نشان داده شده است. نتایج به دست آمده با حالتی که دیوار برشی فولادی با ضخامت ثابت 2 میلیمتر (حداقل ضخامت کاربردی قابل استفاده) به تیرهای طبقات به صورت سرتاسری متصل شده است مقایسه گردیده است (FPST). همچنین در حالت FPST در لحظه وقوع کمانش دیوار برشی فولادی در طبقات مختلف، تنش ثابتی در صفحات فولادی اتفاق نمی‌افتد. مشاهده می‌شود در قاب 3 طبقه، در حالت FP و FPST جابجایی نسبی داخل صفحه سازه در طبقات مختلف اختلاف قابل توجهی ندارد. از طرفی در حالت های ES و ST که اتصال صفحه فولادی به تیر به صورت جزئی تعریف شده است همزمان با افزایش ماکزیمم جابجایی نسبی داخل صفحه سازه، اختلاف قابل توجهی در دریفت طبقات سازه با تغییر محل نبشی‌های اتصال رخ نمی‌دهد. ولی در قاب 4 طبقه روند مشابهی دیده نمی‌شود و با تغییر محل قرارگیری نبشی‌های اتصال، ماکزیمم جابجایی نسبی داخل صفحه در طبقات مختلف تغییر خواهد کرد. در دو حالت دارای اتصال سرتاسری نیز در قاب 4 طبقه اختلاف بیشتری در مقدار ماکزیمم جابجایی نسبی داخل صفحه وجود دارد.

# **5- آنالیز سیکلی و استهلاک انرژی**

جهت بررسی تاثیر نحوه اتصال در خصوصیات جذب انرژی دیوارهای برشی فولادی، قاب های مدلسازی شده تحت آنالیز سیکلی قرار می‌گیرد.

|  |
| --- |
| **Fig 8: Cyclic loading** |
| C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\32.jpg |
| **شکل 8: تاریخچه اعمال بارگذاری سیکلی** |

|  |
| --- |
| **Fig 9: Shear loading pattern in cyclic analysis** |
| *C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\40.jpg* |
| ***شکل 9:* الگوی بارگذاری برشی در آنالیز *سیکلی*** |

به منظور فراهم آوردن امکان مقایسه منطقی و یکسان بین نتایج جذب انرژی و رفتار سیکلی صفحات مختلف با یکدیگر، از یک تاریخچه بارگذاری مشابه، که در شکل 8 مشاهده می‌شود، در مدل‌های مختلف استفاده گردید. با توجه به شکل 8 بارگذاری با اعمال 21 سیکل جابجایی جانبی به سازه تا رسیدن به تغییرمکان نسبی جانبی حدود 9/25 میلیمتر انجام شده است. در این راستا، جابجایی حد تسلیم () تقریبا معادل با 7/3 میلیمتر فرض شده است. شش سیکل ابتدایی به‌ترتیب مبتنی بر جابجایی‌های و با سه تکرار، در جابجایی نیز سه

سیکل تکرار، و در هر کدام از جابجایی‌های بزرگتر از آن ( تا ) دو سیکل تکرار فرض شده است. در اعمال جابجایی‌ها تقریبا مشابه با دستورالعمل آیین‌نامه آمریکا (ATC-24، 1992) عمل شده [38]، با این تفاوت که در جابجایی‌های و به جای سه تکرار، دو تکرار فرض شده است. الگوی بارگذاری برشی در آنالیز سیکلی در قاب 4 طبقه، در شکل 9 نشان داده شده است. در قاب 3 طبقه نیز شرایط مشابه می‌باشد.*جذب انرژی در هر دو قاب با محدود کردن اتصال صفحه فولادی به تیرها کاهش پیدا کرده است. همچنین با توجه به ناحیه تنگ‌شدگی در شکل‌های 10-پ و 10-ج در مواقعی در شکل 10 منحنی هیسترزیس مدل‌ها نشان داده شده است. محور قائم منحنی‌ها به نسبت ظرفیت تسلیم اسمی ورق () بی‌بعد شده‌اند و محور قائم منحنی‌ها جابجایی نسبی درون صفحه (دریفت) در بالاترین طبقه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل 10 به طور کلی ظرفیت که صفحات فولادی به طور پیوسته به تیرهای طبقات متصل هستند سازه شکل‌پذیری بیشتری نشان می‌دهد.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Fig 10: Hysteresis curves of modeled frames in partial and full connection mode** | | |
| C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\33.jpg | C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\34.jpg | C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\35.jpg |
| **الف) قاب 3 طبقه با اتصال جزئی (ES)** | **ب) قاب 3 طبقه با اتصال جزئی (ST)** | **پ) قاب 3 طبقه با اتصال سرتاسری (FP)** |
| C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\36.jpg | C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\37.jpg | C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\38.jpg |
| **ت) قاب 4 طبقه با اتصال جزئی(ES)** | **ث) قاب 4 طبقه با اتصال جزئی(ST)** | **ج) قاب 4 طبقه با سرتاسری (FP)** |
| **شکل 10: منحنی های هیسترزیس قاب‌های مدلسازی شده در حالت اتصال جزئی و سرتاسری** | | |

|  |
| --- |
| **Fig 11: Average energy absorbed in different load cycles** |
| C:\Users\IDEHAL\Dropbox\PC\Desktop\AmirKabirJoournal-Zahra-Paper2\picture-PhotoShop\39.jpg |
| **شکل 11: متوسط انرژی جذب شده در سیکل‌های مختلف بارگذاری** |

شکل 11 متوسط انرژی جذب شده در سیکل‌های مختلف بارگذاری را نشان می‌دهد. در 3 سیکل ابتدایی بارگذاری جذب انرژی قاب‌ها بسیار ناچیز و قابل صرفنظر کردن می‌باشد. در سیکل‌های بعدی اتصال سرتاسری نسبت به اتصال جزئی یاعث افزایش جذب انرژی قاب‌ها شده است. همانطور که در شکل 10 نیز این مساله به صورت کیفی با توجه به سطح زیر نمودارها قابل استنتاج بود. علاوه بر این در شکل 11 نشان داده شده است که هم در اتصال جزئی (ES) و هم در اتصال سرتاسری دیوار‌های برشی فولادی، افزایش تعداد طبقات سازه می‌تواند باعث کاهش ظرفیت جذب انرژی سازه شود. اما در اتصال جزئی (ST) در سیکل‌های مختلف جذب انرژی تقریبا یکسانی در قاب‌های 3 طبقه و 4 طبقه دیده شده است. این موضوع نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن صفحات برشی فولادی با ضخامت ثابت و صرفا با تغییر محل نبشی‌های اتصال، تغییر ارتفاع سازه در جذب انرژی آن تاثیر ناچیزی می‌تواند داشته باشد.

# **6- نتیجه‌گیری**

در پژوهش حاضر به بررسی تاثیر تنش یکنواخت در لحظه کمانش بر عملکرد و جذب انرژی سیستم دیوار برشی فولادی با اتصال جزئی پرداخته شده است. به این منظور قاب‌های بتنی 3 و 4 طبقه با سیستم باربر دیوار برشی فولادی توسط نرم‌افزار المان محدود ABAQUSTM مدلسازی گردید. در روش اول صفحات فولادی بصورت سرتاسری به تیرهای طبقات متصل شدند و بمنظور رسیدن به سطح تنش یکنواخت، ضخامت‌های مناسب صفحات فولادی در ارتفاع سازه در نظر گرفته شد. سپس در روش دوم با استفاده از نبشی‌های در ابتدا و انتهای صفحات (محل قرارگیری نبشی‌های اتصال ثابت می‌باشد) با انتخاب ضخامت مناسب این هدف میسر شد و در روش سوم با در نظر گرفتن ضخامت ثابت صفحات فولادی سعی گردید تا الگوی مناسب نحوه قرار‌گیری نبشی‌های اتصال جهت رسیدن به سطح تنش ثابت، ارائه شود. نتایج بدست آمده به شرح زیر می‌باشد:

1- طبق نتایج ماکزیمم جابجایی نسبی داخل صفحه (دریفت) و برش پایه حاصل از تحلیل دینامیکی، به طور کلی در حالت اتصالات جزئی خاصیت میرایی و استهلاک انرژی سازه افزایش می‌یابد. علاوه بر این اتصال جزئی سبب افزایش ماکزیمم جابجایی نسبی داخل صفحه (دریفت) می‌گردد.

2- بر اساس تحلیل سیکلی انجام شده، در سازه با اتصال سرتاسری صفحات نسبت به اتصال جزئی صفحات، قابلیت جذب انرژی سازه افزایش یافته است. همچنین با توجه به نمودار‌های هیسترزیس و ناحیه پینچینگ شکل‌پذیری سیستم دیوار برشی دارای اتصال سرتاسری مقداری بیشتر از سیستم دیوار برشی با اتصال جزئی می‌باشد.

3- در سیکل‌های ابتدایی بارگذاری، جذب انرژی سازه ناچیز و قابل صرفنظر کردن است. همچنین، در اتصال سرتاسری دیوارهای برشی فولادی افزایش طبقات باعث کاهش جذب انرژی سیستم می‌شود. این الگو زمانی که محل قرارگیری نبشی‌های اتصال ثابت در نظر شود نیز برقرار می‌باشد. اما با تغییر محل قرارگیری اتصالات و فرض ضخامت ثابت صفحات فولادی برشی در ارتفاع سازه، در سیکل‌های مختلف بارگذاری و تغییر ارتفاع سازه تاثیر قابل توجهی در انرژی سازه نخواهد داشت.

4- چگونگی سطح توزیع تنش و جابجایی‌های عمود بر صفحه نشان می‌دهد در اتصالات جزئی عمده تمرکز تنش در محل قرارگیری نبشی‌های اتصال می‌باشد. همچنین نشان می‌دهد که در اتصالات جزئی توزیع تنش قطری و الگوی کمانش در صفحات برشی فولادی می‌تواند منجر به افزایش قابلیت باربری سازه گردد.

5- ثابت در نظر گرفتن ضخامت صفحات برشی فولادی و تغییر در محل قرارگیری نبشی‌های اتصال می‌تواند باعث کنترل ماکزیمم جابجایی نسبی داخل صفحه گردد.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **علائم انگلیسی** | | **علائم يونانی** | |
| B | عرض صفحه،mm |  | ضریب پوآسون |
| E | مدول **الاستيسيته**، GPa |  | تنش تسلیم نرمال، MPa |
|  | مدول الاستیسیته مماسی، GPa |  | نش تسلیم برشی، MPa |
| L | طول صفحه،mm |  | تنش نرمال حد خطی، MPa |
| t | ضخامت صفحه،mm |  | تنش بری حد خطی، MPa |

# **7- مراجع**

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | A. Gheitasi و M. M. Alinia, “Slenderness classification of unstiffened metal plates under shear loading,” Thin-Walled Structures, جلد 48, pp. 508-518, 2010. |
| [2] | H.-J. Sun, Y.-L. Guo, C.-B. Wen و J.-Q. Zuo, “Local and global buckling prevention design of corrugated steel plate shear wall,” Journal of Building Engineering, جلد 68, pp. 160-055, 2023. |
| [3] | M. Khazaei-Poul و F. Nateghi-Alahi, “Finite-Element Investigation of Steel Plate Shear Walls with Infill Plates Strengthened by GFRP Laminate,” Journal of Seismology and Earthquake Engineering, جلد 14, شماره 3, pp. 183-196, 2012. |
| [4] | M. Gorji Azandariani, A. Mohammad Rousta, M. Mohammadi, M. Rashidi و H. Abdolmaleki, “Numerical and analytical study of ultimate capacity of steel plate shear walls with partial plate-column connection (SPSW-PC),” Structures, جلد 33, pp. 3066-3080, 2021. |
| [5] | R. G. Driver, G. L. Kulak, D. J. L. Kennedy و A. E. Elwi, “Cyclic Test of Four-Story Steel Plate shear wall,” J Struct Eng, جلد 124, شماره 2, pp. 20-112, 1998. |
| [6] | A. S. Lubell, H. G. L. Prion, C. E. Ventura و M. Rezai, “Unstiffened Steel Plate Shear Wall Performance under Cyclic Loading,” J Struct Eng, جلد 126, شماره 4, pp. 60-453, 2000. |
| [7] | M. A. Zoghi و M. Mirtaheri, “Progressive collapse analysis of steel building considering effects of infill panels,” Struct Eng Mech, جلد 59, pp. 59-82, 2016. |
| [8] | M. Gorji Azandariani, M. Gholhaki و M. A. Kafi, “Experimental and numerical investigation of low-yield-strength (LYS) steel plate shear walls under cyclic loading,” Eng Struct, جلد 203, pp. 109-866, 2020. |
| [9] | Z. Chen, Y. Yang, X. Yan, Y. Duan, T. Zhang و J. Wang, “Cyclic tests and parametric analyses of steel grid shear walls,” Journal of Constructional Steel Research, جلد 200, pp. 107-647, 2023. |
| [10] | W. Qiao, X. Zhang, Q. Xu و G. Wang, “Seismic performance of thin-walled steel and concrete composite column-corrugated steel shear wall structure,” Journal of Constructional Steel Research, جلد 201, pp. 107-745, 2023. |
| [11] | X. Ma و L. Liu, “Fatigue properties of RC beams reinforced with ECC layer and steel plate,” Construction and Building Materials, جلد 372, pp. 130-799, 2023. |
| [12] | G. Fan, J. Men, Y. Fu, T. Lan و J. Wang, “Seismic behavior of steel plate wall with with stiffners and concrete slab in the box-plate steel structure,” Journal of building Engineering, pp. 106-239, 2023. |
| [13] | G. Pachideh, M. Gholhaki, A. Yadegari و M. Shiri, “Modeling and analysis of thin steel plate shear walls using the new method,” در 2nd international conference on civil engineering, architecture & urban, London, Englang, 2017. |
| [14] | M. Gholhaki, M. Karimi و G. Pachideh, “Investigation of subpanel size effect on behavior factor of stiffened steel plate shear wall,” Journal of Structural and Construction Engineering, جلد 5, شماره 4, pp. 73-78, 2019. |
| [15] | M. Gholhaki, G. Pachideh و A. Javahertarash, “Capacity spectrum of SPSW using pushover and energy method without need for calculation of target point,” Structures, جلد 26, pp. 516-523, 2020. |
| [16] | A. Khosravikhor, M. Gholhaki, O. Rezaifar و G. Pachideh, “Effect of Ni-Ti shape memory alloy on ductility and response modification factor of SPSW systems,” Steel and Composite Structures, جلد 48, شماره 3, pp. 353-365, 2023. |
| [17] | “AASHTO, LRFD bridge design specifications (6th ed.),” American Associationof State Highway and Transportation Officials, Washington (DC), 2012. |
| [18] | M. M. Alinia و M. Dastfan, “Behaviour of thin steel plate shear walls regarding frame members,” Journal of Constructional Steel Research, جلد 62, pp. 730-738, 2006. |
| [19] | J. K. Paik و A. K. Thayamballi, “Buckling strength of steel plating with elastically restrained edges,” Thin-Walled Structures, جلد 37, pp. 27-55, 2000. |
| [20] | H. R. Habashi و M. M. Alinia, “Characteristics of the wall-frame interaction in steel plate shear walls,” Journal of Constructional Steel Research, جلد 66, pp. 150-158, 2010. |
| [21] | R. Maquoi و M. Skaloud, “Stability of plates and plated structures General Report,” Journal of Constructional Steel Research, جلد 55, pp. 45-68, 2000. |
| [22] | J. Rhodes, “Some observations on the post-buckling behaviour of thin plates and thin-walled members,” Thin-Walled Structures, جلد 41, pp. 207-226, 2003. |
| [23] | M. Gorji Azandariani, M. Gholhaki, M. A. Kafi و T. Zirakian, “Study of Effects of Beam-Column Connection and Column Rigidity on the Performance of SPSW System,” J Build Eng, جلد 33, pp. 101-821, 2021. |
| [24] | D. Vian, M. Bruneau, K. C. Tsai و Y. C. Lin, “Special Perforated Steel Plate Shear Walls with Reduced Beam Section Anchor Beams. I: Experimental Investigation,” J Struct Eng, جلد 135, شماره 3, pp. 20-211, 2009. |
| [25] | S. Sabouri-Ghomi, “Quasi static and dynamic hysteretic behaviour of unstiffened steel plate shear walls,” UK: University of Wales College of Cardiff, 1989. |
| [26] | T. Hitaka و C. Matsui, “Experimental Study on Steel Shear Wall with Slits,” J Struct Eng, جلد 129, شماره 5, pp. 95-586, 2003. |
| [27] | J. Lu, S. Yu, J. Xia, X. Qiao و Y. Tang, “Experimental study on the hysteretic behavior of steel plate shear wall with unequal length slits,” Constr Steel Res, جلد 147, pp. 87-477, 2018. |
| [28] | M.-W. Wei, J. Y. Richard Liew, D. Yongc و F. Xue-Yi, “Experimental and numerical investigation of novel partially connected steel plate shear walls,” Journal of Constructional Steel Research, جلد 132, pp. 1-15, 2017. |
| [29] | L. Guo, Q. Rong, X. Ma و S. Zhang, “Behavior of steel plate shear wall connected to frame beams only,” Int J Steel Struct, جلد 11, شماره 4, pp. 79-467, 2011. |
| [30] | Y. Ozcelik و P. M. Clayton, “Seismic design and performance of SPSWs with beam-connected web plates,” J Constr Steel Res, جلد 142, pp. 55-67, 2018. |
| [31] | Y. Ozcelik و P. M. Clayton, “Behavior of columns of steel plate shear walls with beam-connected web plates,” Eng Struct, جلد 172, pp. 32-820, 2018. |
| [32] | M. Fathali و S. Hoseini Vaez, “Optimum performence-based designof eccentrically braced frames,” Engineering Structures, جلد 202, pp. 109-857, 2020. |
| [33] | S. Miri و H. Tajmir riahi, “Optimal seismic design of concrete structures based on perfomance using durability time method,” Sharif, جلد 35, شماره 2, pp. 39-50, 2019. |
| [34] | S. Gholizadeh, M. Danesh و C. Gheyratmand, “A new newton metaheuristic algorithm for discrete performence-based design optimization of steel moment frames,” Computers and Structures, جلد 234, pp. 106-250, 2020. |
| [35] | Z. Aliarab و S. A. A. Hosseinzadeh, “Effect of bucking and yielding phenomena on the behavior of steel and aluminum shear panels,” Amirkabir Journal of Civil Enginnering, جلد 54, شماره 3, pp. 981-1004, 2022. |
| [36] | Z. Aliarab و A. Biglari Fadafan, “Feasibility of Guaranteed Uniform Deformation using Steel Shear Wall with Partial Connections,” Modares Civil Engineering journal, جلد 22, شماره 6, pp. 165-178, 2022. |
| [37] | Z. Aliarab و S. Hosseinzadeh, “Behavioral characteristics of steel shear panels with different materials and slenderness ratios,” Amirkabir Jornal of Civil Engineering, جلد 53, شماره 4, pp. 1649-1670, 2021. |
| [38] | “ATC-24, Guidelines of Cyclic Seismic Testing on Components for Steel Structures,” Applied technology Council, Reswood City, California, U.S.A, 1992. |
| [39] | P. A. Timler و G. L. Kulak, “Experimental Study of Steel Plate Shear Walls,” Structural Engineering Report, شماره 114, 1983. |
| [40] | E. W. Tromposch و G. L. Kulak, “Cyclic and static behavior of thin panel steel plate shear walls,” Structural Engineering Report, شماره 145, 1987. |
| [41] | M. Elgaaly, V. Caccese و C. Du, “Postbuckling Behavior of Steel-Plate Shear Walls under Cyclic Loads,” J Struct Eng, جلد 119, شماره 2, pp. 588-605, 1993. |

**Evaluation of steel shear wall connection pattern behavior in order to improve seismic performance**

Abstract

Steel plates are widely used in various industries, especially in civil engineering. Low cost in implementation and reduction of seismic mass are the advantage of steel shear wall system compared to other structural systems. The goal of a good design is that along with following the existing guidelines and achieving the desired seismic resistance of the structure, the structure is affordable in terms of weight and cost. Considering that according to the design, it is not possible to achieve the optimal use of the structure's capacity by force control method, the theory of uniform deformations was proposed with the assumption of a constant performance level. The subject of design based on performance increase the safety of the structure against earthquake force and design with optimal seismic performance during the useful life of the structure in seismic areas. Also, compared to the design method based on force control, it can lead to a lighter and economical design.

One of the significant ways to reduce the weight and stiffness of shear walls and boundary elements connected to them is to limit the connection of filler plates to boundary elements. In this method, limiting the length of the connection reduces the force on the beams and columns, and as a result, smaller sections can be used.

In this research, in order to achieve the optimal performance level, two concrete frames with steel shear wall resistant system are subjected to nonlinear analysis. Then, the initial evaluation of the behavior and the correctness of the used method are checked. After that, the effective factors in achieving uniform stress in the height of the structure will be investigated. For this purpose, by using the effect of the thickness parameter and the appropriate pattern of connection of the shear steel plate to the surrounding elements, the way of changing the performance and behavior of the structure will be investigated. For this purpose, 3- and 4-story concrete frames with steel shear wall systems were modeled using ABAQUSTM finite element software. The steel used in the steel shear wall system is ST37. First, the connection of steel shear plates to floor beams was considered and then the influence of the partial connection pattern on the seismic performance of the steel shear wall system was investigated. The modeled frames were subjected to dynamic analysis, linear and nonlinear buckling analysis, and cyclic analysis. Based on the obtained results, the property of energy dissipation in the frame with a steel shear wall system with partial connection has increased significantly. Changing the partial connection pattern led to changing the maximum in-plan relative displacement. Also, the surface of the stress distribution shows that in the partial connection, the stress concentration mainly occurred in the place of the steel shear plate connections. In addition, according to the results of cyclic analysis, considering the partial connection of the steel shear wall has led to a decrease in the average energy absorbed in the structure and an increase in its ductility. Also, changing the connection pattern has affected the average amount of absorbed energy in different loading cycles.

Keywords

Partial connection, Steel plate, Shear loading, Energy absorption, Finite element analysis.