



Numerical Study of the Combination of Steel Shear Wall with Eccentric Bracing under Cyclic Loads

Shahed Rasouli^{1*}, Mohammad Keivan Latifi²

¹Faculty Member, Department of Civil Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

²MSc Student, Department of Civil Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type:

Original Research

Received: 09.08.2021

Revised: 12.02.2021

Accepted: 01.16.2022

Keyword:

Steel Shear Wall
Divergent Bracing
Abaqus
Cyclic Load

*Corresponding Author:

Shahed Rasouli

Email: shrasouli@tvu.ac.ir

ABSTRACT

In structural designs, lateral strength systems are used to withstand lateral loads such as earthquakes and winds. Bending frame system with divergent bracing and Bending frame system with steel shear wall are two of these systems that have both advantages and disadvantages. Thus far, various research has been conducted separately on one of the above systems. This research seeks to numerically investigate the combination of steel shear wall with eccentric bracing under cyclic loads. To this aim and to ensure the numerical results, a laboratory sample was validated and then 126 models were modeled in seven modes by considering different arrangements of divergent bracing and steel shear wall in three openings of a floor with Abaqus software. In these samples, the placement of divergent bracing and steel shear wall in addition to their placement in different openings were evaluated taking into consideration different thicknesses of steel shear wall sheets and different numbers of the downspout with the aim of assessing the effect of combining steel shear wall and divergent bracing in steel frames. The results of the analysis indicated that the lowest increase in force was related to the sixth mode of modeling, the combination of steel shear wall in two openings and bracing in one opening and downspout number 10 with a value of 15.57% increase in force. Furthermore, the highest amount of force was related to the third mode of modeling using two divergent bracing openings and one opening of steel shear wall and downspout number 12 amounting to 77.45% increase in force.



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Today, the use of steel shear walls as an efficient lateral seismic load-bearing system to increase lateral resistance and hardness of buildings against earthquakes is noticeable in steel structures. Researchers have always sought to find an ideal system for resisting lateral loads, which, in addition to having high hardness and resistance, also has good plasticity and can dissipate the incoming energy well.

Both steel shear wall and diverging brace systems were used in the late 70s and based on observations after earthquakes, both are considered among the most efficient systems used for lateral and seismic load of structures. However, the implementation of both systems is expensive and more complex than other systems. Thus far, there have been discussions on the combination of both of the above-mentioned systems compared to the conventional bending frame and eccentric brace systems, but it is necessary to examine the performance behavior of the combination of the two above-mentioned systems more closely and compare for use under architectural conditions and in structures that require the use of these two structural systems. Most previous research have investigated the behavior of steel shear walls or diverging braces separately. . Therefore, the innovation of this research is to examine the combination of steel shear wall behavior with different braces.

Methodology

In the present research, first, the laboratory model of Emami et al. (2013), which is a single-span one-story steel shear wall model with specified specifications in the laboratory, was modeled and validated using Abaqus software. Then, the desired models, which included seven different combinations of steel shear wall and eccentric wind brace, it was modeled in Abaqus software and analyzed under the loading conditions of the laboratory model. Different thicknesses of the steel shear wall as well as different numbers of UNP studs were modeled and analyzed under cyclic load. Then, hysteresis diagrams were drawn in each of the combination states, and finally, the bearing capacity, hardness and ductility were compared in different states and numbers of studs. In Figure 1, different modes of modeling the combination of steel shear wall and divergent wind brace are shown.

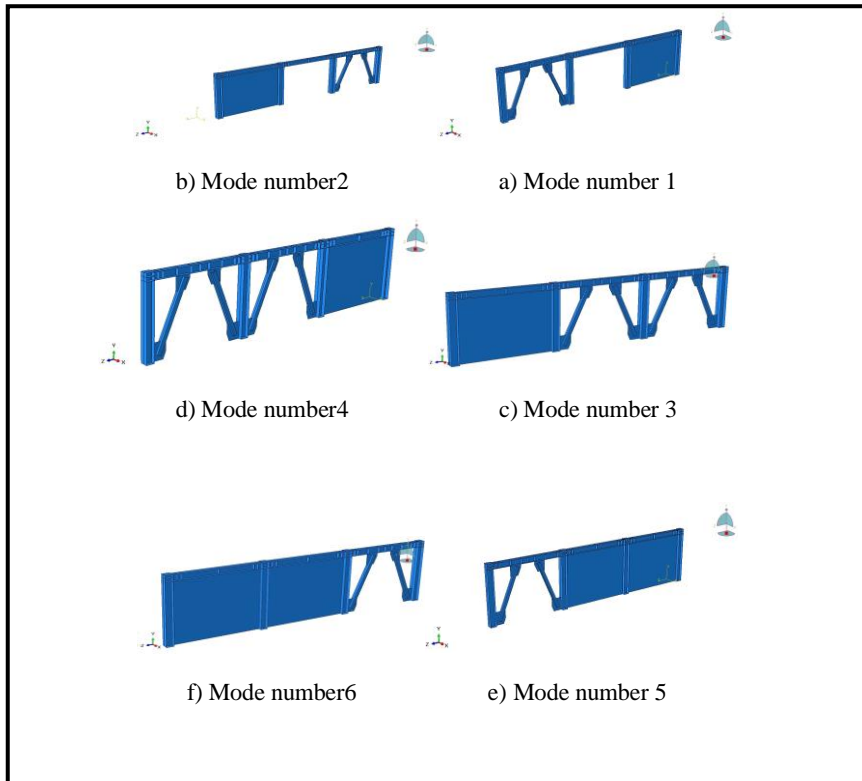


Figure 1. Different modes of modeling the combination of steel shear wall and diverging braces.

Results and discussion

In different modes of modeling with different thicknesses of steel shear wall and stud number 8, the maximum amount of force that could be tolerated was 2697.25 kilonewtons and corresponded to the fifth mode of modeling with a thickness of steel shear wall of 5 mm and stud number 8. In addition, the lowest value of the tolerable force was 1314.28 kilonewtons and was related to the seventh mode of modeling with a steel shear wall thickness of 1 mm and stud number 8. When comparing hardness values in different modeling modes with different thicknesses of steel shear wall and stud number 8, the highest hardness value was linked to the fourth, fifth and sixth modes while the lowest difficulty value was related to the seventh mode. In comparison, the ductility values in different modeling modes with different thicknesses of steel shear wall and stud number 8 were also shown in diagram form. According to the diagram shown, the highest amount of ductility was related to the fourth, fifth and sixth states while the lowest plasticity value was related to the seventh mode.

Conclusion

In this research, the modeling of seven different modes of combination of steel shear wall and divergent tie with different thicknesses of steel shear wall and different numbers

of divergent tie studs under cyclic loading was investigated. Analyses of different states of force, hardness, plasticity, and comparison of these states and stress were carried out.

The force increase percentage values in different modeling modes of 1 mm thick steel shear wall and studs with different numbers of stud mode number 8 were considered as the basis of comparison and the force increase values in the stud mode of numbers 10 and 12 were measured in relation to it. The lowest percentage value of force increase was related to the sixth mode of modeling the combination of steel shear wall in two spans and bracing in one span and studs score 10 with a force value of 15.57%. The highest degree of force was related to the third mode of modeling using two openings of diverging brace and one opening of steel shear wall and studs grade 12 with a force value of 77.45%.

According to the obtained results, it can be concluded that with the increase of the stud score in the combination of steel shear wall and divergent brace, the amount of buckling of the shear wall decreased, and the highest reduction was connected to the third mode of modeling which had two spans of the divergent brace and one span of the steel shear wall.

In the hardness comparison mode, the fourth and fifth modeling modes obtained the highest value and the seventh modeling mode obtained the lowest value. In the malleability comparison mode, the fourth, fifth and sixth modeling modes had the highest malleability value and the second and seventh modes had the lowest amounts of plasticity among the different modes.



بررسی عددی ترکیب دیوار برشی فولادی با بادبند برون‌محور تحت بارهای چرخه‌ای

شاهد رسولی*^۱، محمد کیوان لطیفی^۲

- ۱- عضو هیأت علمی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.
- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۱۷

بازنگری مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۱۱

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۲۶

کلید واژگان:

دیوار برشی فولادی
مهاربند واگرا
آباکوس
بار چرخه‌ای

*نویسنده مسئول: شاهد رسولی

پست الکترونیکی:

shrasouli@tvu.ac.ir



مقدمه

امروزه استفاده از دیوارهای برشی فولادی به‌عنوان یک سیستم باربر جانبی لرزه‌ای کارآمد در بهسازی لرزه‌ای به‌منظور افزایش مقاومت جانبی و سختی ساختمان‌ها در برابر زلزله، در سازه‌های فولادی، مورد توجه قرار گرفته است. پژوهشگران همواره در پی یافتن سیستم ایده‌آلی برای مقاومت در برابر بارهای جانبی بوده‌اند که علاوه بر اینکه دارای سختی و مقاومت بالایی باشد از شکل‌پذیری مناسبی نیز برخوردار باشد و بتواند انرژی وارد شده را به‌خوبی مستهلک کند [۱].

سازه‌های مهمی با استفاده از سیستم دیوارهای برشی فولادی ساخته شده است و تحقیقات آزمایشگاهی و نظری انجام شده روی سیستم دیوارهای برشی فولادی همگی نشانگر آن است که سیستم مذکور در مناطق با لرزه‌خیزی بالا عملکرد مطلوبی دارد و رفتار سازه‌های اجرا شده با سیستم دیوارهای برشی فولادی در زلزله‌های شدید مانند زلزله کوبه در سال ۱۹۹۵ میلادی و نورتریج در سال ۱۹۹۴ میلادی مطلوب بوده است [۲].

در ابتدا مدل آزمایشگاهی خانم امامی و همکاران در سال ۲۰۱۳ [۳] که یک مدل دیوار برشی فولادی یک دهانه یک طبقه با مشخصات مشخص شده در آزمایشگاه به‌وسیله نرم‌افزار آباکوس، مدل‌سازی و صحت‌سنجی شد. سپس در ادامه برای مدل‌های مورد نظر که شامل هفت حالت مختلف ترکیب دیوار برشی فولادی و بادبند برون‌محور می‌باشد در نرم‌افزار آباکوس مدل‌سازی گردید و تحت شرایط بارگذاری مدل آزمایشگاهی تجزیه و تحلیل شد. در ادامه کار برای ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی و همچنین شماره‌های مختلف ناودانی UNP مدل‌سازی شد و آنالیز تحت بار چرخه‌ای انجام گردید. سپس نمودارهای هیستریزیس در هر کدام از حالت‌های ترکیب ترسیم شد و در انتها ظرفیت باربری، سختی و شکل‌پذیری در حالت‌های مختلف، مقایسه و ناودانی‌های مختلف شماره‌گذاری شد.

هر دو سیستم دیوار برشی فولادی و مهاربند واگرا در اواخر دهه ۷۰ میلادی می‌باشند و هر دو براساس مشاهدات پس از زلزله‌ها، از کارآمدترین سیستم‌هایی هستند که برای باربری جانبی و لرزه‌ای سازه‌ها به‌کاررفته‌اند، همچنین اجرای هردو سیستم، گران و از سایر سیستم‌ها پیچیده‌تر است. تاکنون در مورد ترکیب هردو این سیستم‌ها نسبت به سیستم‌های متداول قاب خمشی و مهاربند برون‌محور، بحث‌هایی صورت گرفته است لیکن لازم است تا رفتار عملکرد ترکیب این دو سیستم دقیق‌تر بررسی شود و همچنین نسبت به هم سنجیده شوند تا در صورت لزوم در سازه‌های با شرایط معماری و سازه‌ای که نیاز به استفاده از این دو سیستم سازه‌ای داشته باشد استفاده شود. با توجه به تحقیقات انجام شده بیشتر مطالعات به بررسی رفتار دیوار برشی فولادی یا مهاربند واگرا به‌صورت جداگانه پرداخته شده است؛ از این رو نوآوری این تحقیق در بررسی ترکیب رفتار دیوار برشی فولادی با مهاربندهای مختلف می‌باشد.

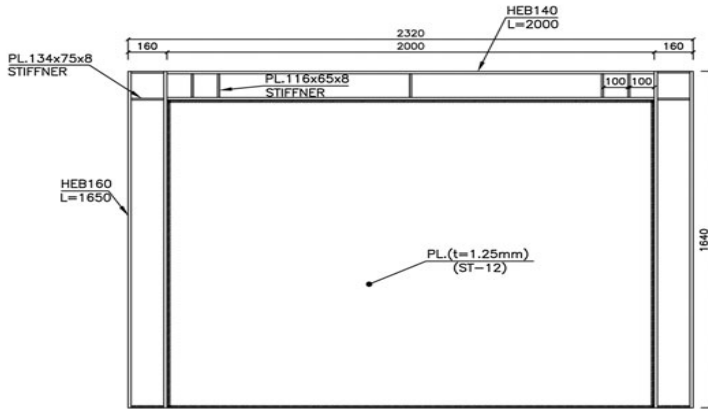
تحقیقات پیشین

ژائو و آستانه اصل در سال ۲۰۰۴ میلادی مطالعاتی با عنوان «رفتار چرخه‌ای یک سیستم دیوار برشی فولادی جدید» انجام دادند. سیستم دیوار برشی ورق فولادی مورد مطالعه در این تحقیق شامل دیوارهای برشی ورق فولادی قاب‌های خمشی فولادی چند دهانه قرار گرفته است. این تحقیق بر مطالعات تجربی سیستم جدید دیوار برشی فولادی مورد استفاده در ساختمان‌های امریکا متمرکز شده است و خلاصه‌ای از نتایج آزمون را ارائه می‌دهد [۴]. ژو و لو نیز در سال ۲۰۰۸ اقدام به ساخت نمونه‌ای دو طبقه با مقیاس کامل به‌منظور بررسی تأثیرات زلزله شدید بر دیوار برشی فولادی و تعمیر آن پرداختند. آن‌ها اتصالات تیر به ستون را از نوع آر.بی.اس (کاهش یافته) انتخاب کردند و نمونه را تحت بارگذاری دینامیکی و سپس تناوبی قرار دادند. نتایج حاکی از شکست جوش اتصال صفحه به صفحه اتصال در اطراف تیر در تغییر شکل نسبی ۵/۲ درصد بود. چان و همکاران در سال ۲۰۱۱ در تحقیقی، کاهش سختی و مقاومت را با روش غیرخطی اجزای محدود در قاب یک دهانه با دو نوع ضخامت ۵ و ۱۰ میلی‌متر برای ورق فولادی بررسی کردند. در این مطالعه از روش بار تغییر مکان استفاده شده که به بال بالایی تیری که در بالای قاب می‌باشد تغییر مکان

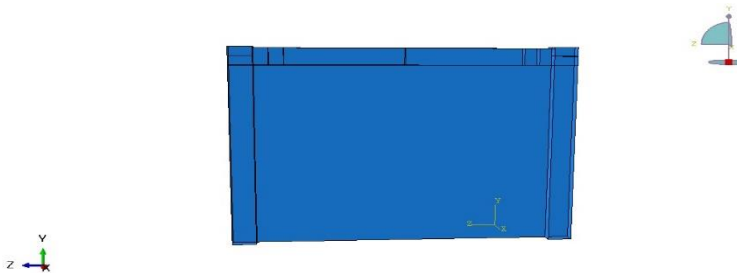
حداکثر ۸۸ میلی‌متری اعمال شده است. نتیجه این تحقیق منجر به یک فرمول خطی برای کاهش مقاومت و سختی شد [۵]. وانگ و همکارانش در سال ۲۰۱۵ میلادی مطالعاتی با عنوان «مطالعه عددی و تجربی ساختار دیوار برشی ورق فولادی سخت‌نشده» را انجام دادند. به‌منظور بررسی رفتارهای لرزه‌ای سازه دیوار برشی فولادی سخت‌نشده، آزمون‌های نمونه دیوار برشی ورق فولادی سخت‌نشده ۳ تا ۴ طبقه تحت بار چرخه‌ای انجام شد. پارامترهای نمونه‌ها شامل نسبت ارتفاع به ضخامت، نسبت طول به ارتفاع و مهاربند میانی است. ظرفیت حمل، رفتار هیسترتیک، ویژگی‌های تخریب، شکل‌پذیری، مد شکست و ظرفیت اتلاف انرژی تحلیل و مقایسه گردید. علاوه بر این روش المان محدود غیرخطی سازه دیوار برشی نیز ایجاد شد که از طریق نتایج آزمون اعتبارسنجی شده است [۶]. ژانگ یانگ ما و همکاران در سال ۲۰۱۸ نوعی جدید از دیوار برشی فولادی دارای چند سخت‌کننده مقاوم در برابر کماتش ورق جان فولادی با نقطه جاری‌شدن پایین را پیشنهاد دادند. مزیت ورق جان با نقطه جاری‌شدن پایین این است که بیشترین کماتش در این ناحیه به‌وجود می‌آید که نقش مهمی را در اولین خط دفاع در برابر نیروی زلزله ایفا می‌کند [۷]. ژو کیانگ‌خی و همکاران در سال ۲۰۱۸ به بررسی آزمایشگاهی دیوار برشی فولادی سرد نورد شده با اتصالات پرچی خودکار تحت بارگذاری یکنواخت و چرخه‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که فاصله پرچ‌ها در لبه‌های ورق جان یک عامل تأثیرگذار بر مودهای گسیختگی و مشخصات مکانیکی دیوار برشی فولادی سرد نورد شده است [۸]. قمری و همکاران در سال ۲۰۱۹ رفتار عددی قاب فولادی با دیوار برشی فولادی با شکل‌های مختلف را مطالعه کردند. نتایج حاصل نشان داد که برای دیوار برشی فولادی به شکل دوزنقه با زاویه قرارگیری در طرفین بیشتر از ۱۰۵ درجه، تأثیر قابل‌توجهی بر سختی دیوار ندارد. همچنین در حالت دیوار با شکل مستطیل جذب انرژی بیشتری نسبت به دیوار با شکل دوزنقه دارد [۹]. گرجی آذرندریان و همکاران در سال ۲۰۲۰ به بررسی رفتار عددی و آزمایشگاهی رفتار هیسترتیک اتصالات در دیوار برشی فولادی با مقاومت کم پرداختند. نتایج حاصل از تحلیل نشان دادند که اتصالات، تأثیر کمی در سختی اولیه دیوار برشی فولادی دارند. همچنین نتایج عددی تطابق خوبی در زمینه پیش‌بینی کماتش خارج از صفحه و سختی و محل تشکیل مفصل پلاستیک با مدل آزمایشگاهی داشتند [۱۰]. رضوی و همکاران در سال ۲۰۲۰ در مطالعه‌ای به بررسی رفتار مهاربندهای واگرا با در نظر گرفتن فاصله‌های مختلف تیر پیوند تحت زلزله‌های حوزه نزدیک با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک پرداختند. نتایج تحلیل نشان دادند که فاصله تیر پیوند، تأثیر مستقیم بر رفتار تیر دارای تیر پیوند و نیز شکل‌پذیری سقف دارد و در ادامه براساس نتایج تحلیل، روابطی برای تعیین تغییر مکان غیرخطی سازه در این حالت پیشنهاد گردید [۱۱]. ویجایا و همکاران در سال ۲۰۲۱ در مطالعه‌ای به بررسی رفتار برشی مهاربندهای همگرا و واگرا تحت بارهای چرخه‌ای پرداختند. نتایج تحلیل نشان دادند که مهاربندهای همگرا دارای بیشترین ظرفیت باربری بودند و همچنین جابه‌جایی مهاربندهای واگرا بیشتر از مهاربندهای همگرا بود [۱۲].

صحت‌سنجی

برای مدل‌سازی در ابتدا، مدل صحت‌سنجی دیوار برشی فولادی امامی و همکاران [۳] مدل‌سازی شد. نمونه ساخته‌شده دیوار برشی فولادی در شکل ۱ نشان داده شده است. ضخامت ورق ۰/۰۰۱۲۵ متر و تیر بالا و پایین به ترتیب HEB۱۴۰، HEB۲۰۰ و ستون HEB۱۶۰ می‌باشد. همچنین ارتفاع و عرض ورق جان دیوار به ترتیب ۱/۵۰ و ۲ متر می‌باشد. در شکل ۲ هندسه مدل ساخته‌شده در نرم‌افزار آباکوس نشان داده شده است.

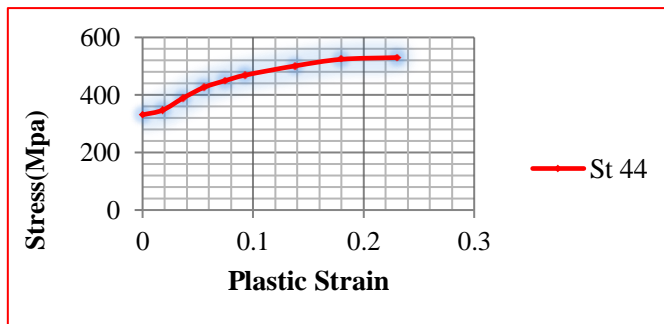


شکل ۱. مشخصات نمونه ساخته شده.

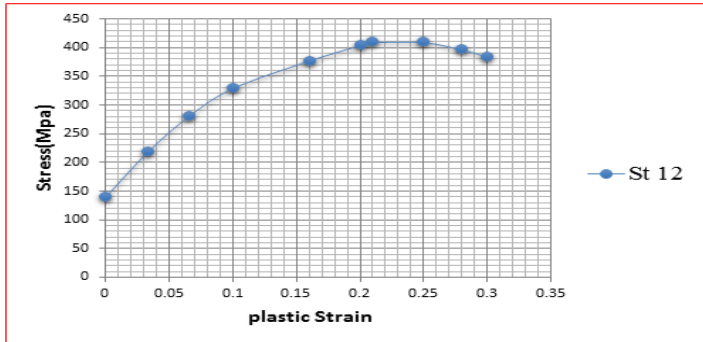


شکل ۲. هندسه مدل ساخته شده در نرم افزار آباکوس.

مصالح استفاده شده برای قاب سیستم، فولاد ST-۴۴ و پنل دیوار فولاد ST-۱۲ می باشد. برای تعریف این مصالح برای نرم افزار ABAQUS ابتدا باید مصالح خطی برای نرم افزار تعریف شود و سپس با توجه به نمودار تنش- کرنش فولاد یک نمودار چندخطی برای نرم افزار الگو قرار داده شود تا رفتار مصالح در ناحیه غیرخطی را در نظر بگیرد. پارامترهای لازم برای مصالح خطی شامل مدول الاستیسیته و نسبت پواسون می باشد که برابر با ۲۱۰ گیگاپاسکال و ۰/۳ در نظر گرفته شده است. برای تعریف ناحیه غیرخطی با توجه به نمودار تنش- کرنش فولاد ST-۴۴ و ST-۱۲ تنش و کرنش این نقاط در شکل های ۳ و ۴ نشان داده شده است.

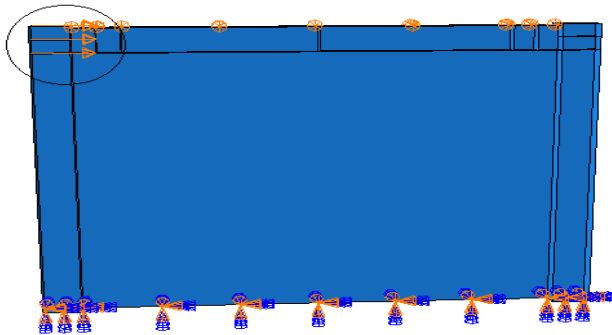


شکل ۳. نمودار تنش- کرنش غیرخطی تعریف شده فولاد ST-۴۴ برای نرم افزار [۳].



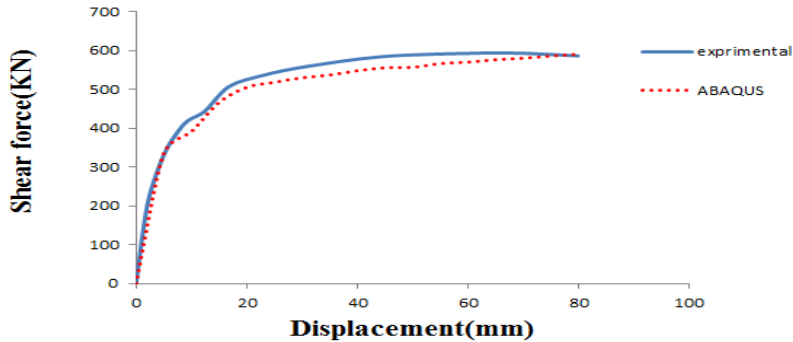
شکل ۴. نمودار تنش- کرنش غیرخطی تعریف‌شده فولاد ST-۱۲ برای نرم‌افزار [۳].

در شکل ۵ شرایط تکیه‌گاهی و نحوه اعمال بار به مدل صحت‌سنجی نشان داده شده است. همانطور که در تصویر نشان داده شده تکیه‌گاه‌های پای دیوار به صورت گیردار در نظر گرفته شده و برای جلوگیری از کمانش خارج از صفحه، درجات آزادی خارج از صفحه بالای دیوار، بسته شده است. بار اعمالی به دیوار به گوشه بالای سمت چپ دیوار همان‌طور که در شکل ۵ مشخص شده است به مدل اعمال گردید. برای تحلیل دیوار از تحلیل استاتیکی غیرخطی استفاده شده است.



شکل ۵. شرایط تکیه‌گاهی و نحوه اعمال بار به مدل صحت‌سنجی.

در مقایسه این مدل آزمایشگاهی به روش المان محدود از استفاده از مدل‌سازی منطبق بر مدل آزمایشگاهی، مدل‌سازی گردید. در مدل‌سازی اجزای محدود برای کلیه مقاطع از المان S4R برای مدل‌سازی استفاده شد. اندازه شبکه‌بندی از مهم‌ترین پارامترها در تحلیل‌های اجزای محدودی بود که به شدت بر نتایج تحلیل، تأثیرگذار است. در این مبحث به‌طور معمول با ریزتر کردن شبکه‌بندی، تغییر در مقادیر یک متغیر میدان بررسی می‌شود. با توجه به نتایج تحلیل حساسیت مش می‌توان گفت که اندازه شبکه‌بندی ۰/۱۰ متر از نظر دقت عددی، زمان تحلیل و حجم فایل تولیدشده بهینه بود؛ از این رو برای مدل‌های دیگر نیز از اندازه ۰/۱۰ متر برای شبکه‌بندی استفاده شد. در شکل ۵ مقایسه نمودارهای پوش‌آور مدل آزمایشگاهی و مدل المان محدود نشان داده شده است. چنان‌که ملاحظه می‌شود مدل‌سازی ABAQUS دقت قابل‌قبولی دارد.

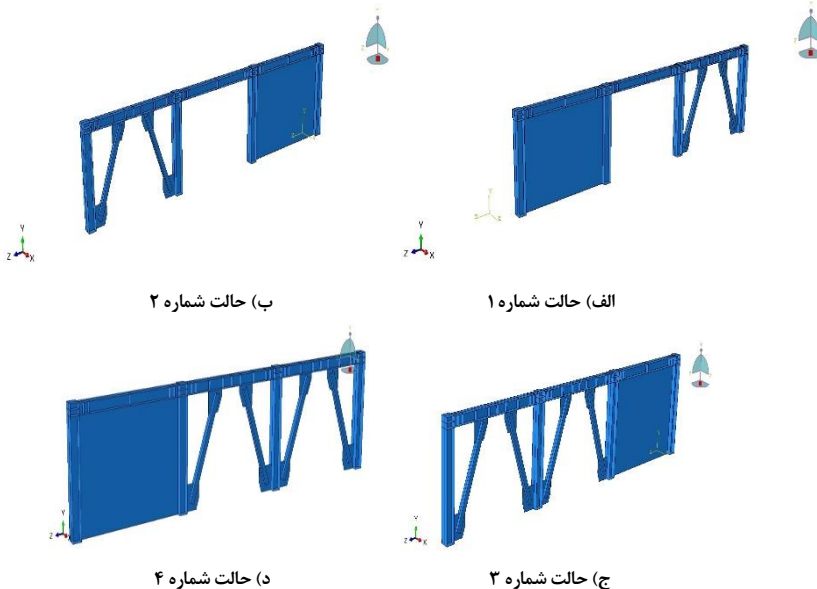


شکل ۵. مقایسه نتایج حاصل از مدل سازی و آزمایشگاهی برای صحت سنجی مدل.

هندسه مدل

در این تحقیق، دیوار برشی فولادی و مهاربند واگرا با ضخامت و مقاطع‌های مختلف مدل شد تا بتوان رفتار ترکیب دیوار فولادی و مهاربند واگرا را ارزیابی کرد. مدل مورد مطالعه تحت بارگذاری جانبی قرار گرفت. برنامه المان محدود آباکوس این توانایی را دارد که برای تحلیل مدل‌هایی با ساختار مرکب استفاده شود. در واقع با این برنامه می‌توان مدل‌هایی با ترکیب مواد مختلف ایجاد کرد و نیز می‌توان با استفاده از توانایی‌هایی این برنامه رفتاری مناسب در قسمت مرزی بین دو ماده برقرار کرد. در این تحقیق برای مدل کردن فولاد از المان S4R که از خانواده المان‌های SHELL می‌باشد، استفاده شده است.

در این پژوهش، حالت‌های مختلف شامل: حالت ترکیب شماره ۱، حالت ترکیب شماره ۲ و حالت ترکیب شماره ۳، حالت ترکیب شماره ۴، حالت ترکیب شماره ۵ و حالت ترکیب شماره ۶ و ۷ مدل سازی شده است. در شکل ۶ حالت‌های مختلف نشان داده شده است. این حالت‌ها دارای ضخامت دیوار برشی $0/001$ ، $0/002$ ، $0/003$ ، $0/004$ و $0/005$ متر و شماره ناودانی اعضای مورب مهاربند $10/8$ و 12 می‌باشد.

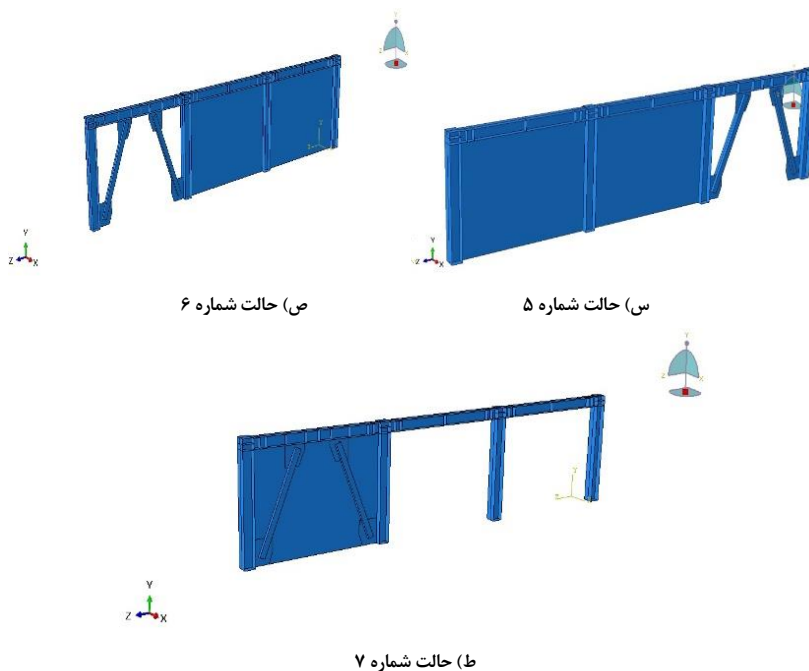


(ب) حالت شماره ۲

(الف) حالت شماره ۱

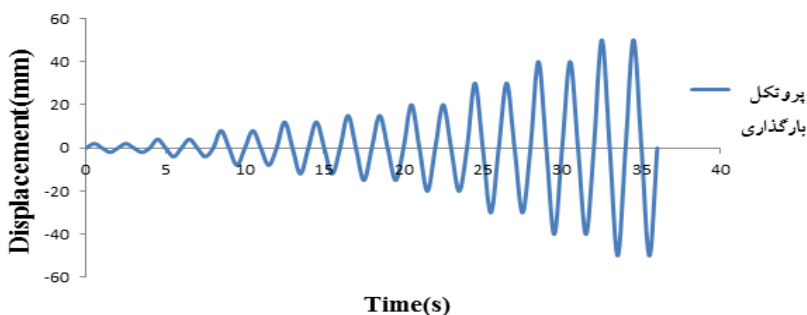
(د) حالت شماره ۴

(ج) حالت شماره ۳

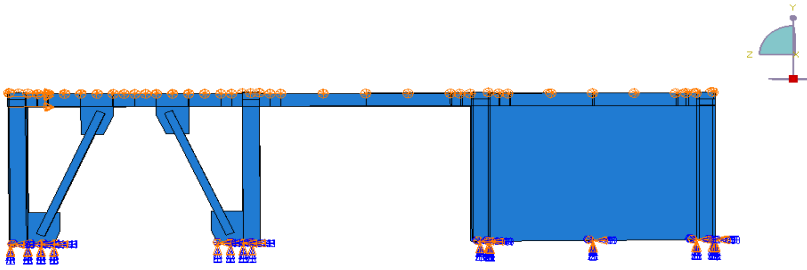


شکل ۶. حالت‌های مختلف مدل‌سازی ترکیب دیوار برشی فولادی و بادبند واگرا.

در این تحقیق از تحلیل استاتیکی غیرخطی برای تحلیل مدل‌ها استفاده شده است. برای اعمال بارگذاری به نمونه مطابق مدل بار آزمایشگاهی، یک جابه‌جایی به دیوار برشی فولادی به صورت افزایشی تا میزان ۱۰۰ میلی‌متر اعمال گردید. همچنین برای تحلیل هیستریزس مدل‌ها که به صورت افزایش نیم درصدی جابه‌جایی و در هر مقدار جابه‌جایی دو سیکل بارگذاری صورت گرفت. تکیه‌گاه‌های مدل دیوار به صورت گیردار و بالای تیر برای جلوگیری از کماتش، خارج از صفحه بسته شد. در شکل ۷ پروتکل بارگذاری نشان داده شده است. در شکل ۸ شرایط تکیه‌گاهی و نحوه اعمال بار به مدل‌ها نشان داده شده است.

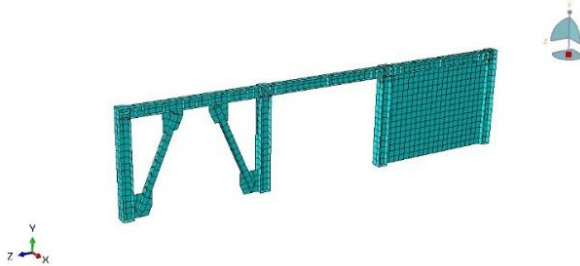


شکل ۷. پروتکل بارگذاری [۱۳].



شکل ۸. شرایط تکیه‌گاهی و نحوه اعمال بار به مدل‌ها.

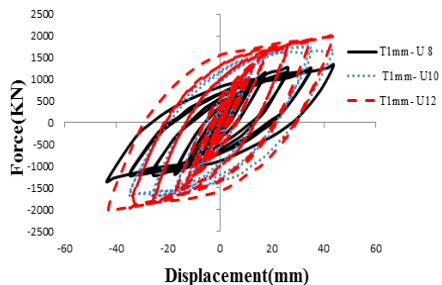
در شکل ۹ مش‌بندی حالت شماره ۱ ترکیب دیوار برشی فولادی و مهاربند واگرا نشان داده شده است. ابعاد مش‌بندی برای مدل ۰/۱ متر در نظر گرفته شده است.



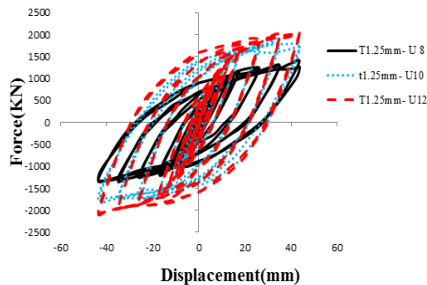
شکل ۹. مش‌بندی حالت شماره ۱ ترکیب دیوار برشی فولادی و مهاربند واگرا.

نتایج تحلیل

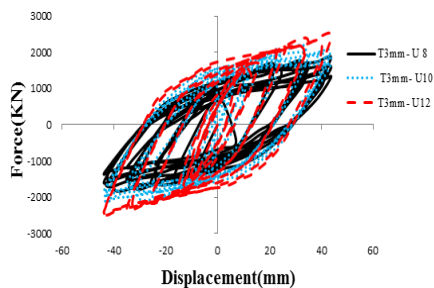
به‌منظور بررسی بیشتر رفتار لرزه‌ای سیستم‌های سازه‌ای مدل‌شده با استفاده از نرم‌افزار آباکوس، هفت حالت مدل‌سازی که در بخش قبل در مورد آن توضیح داده شد تجزیه و تحلیل شدند. در مدل‌های این تحقیق برای ضخامت ورق فولادی از T و برای نشان دادن ناودانی از U استفاده شده است. برای مثال T1mm-U8 یعنی دیوار برشی فولادی به ضخامت ۱ میلی‌متر و ناودانی شماره ۸ می‌باشد. در شکل ۱۰ نمودار هیستریزیس حالت اول مدل‌سازی ناودانی با شماره‌های ۸، ۱۰ و ۱۲ با ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل‌ها ملاحظه می‌گردد با افزایش ضخامت ورق دیوار برشی فولادی، میزان ظرفیت باربری افزایش می‌یابد.



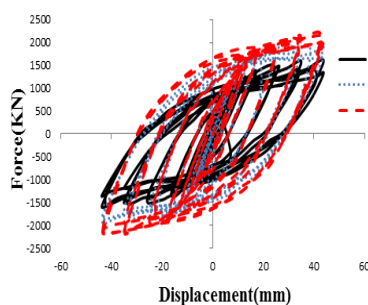
(۲)



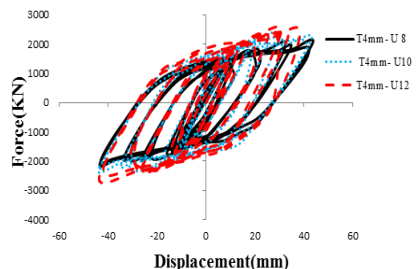
(۱)



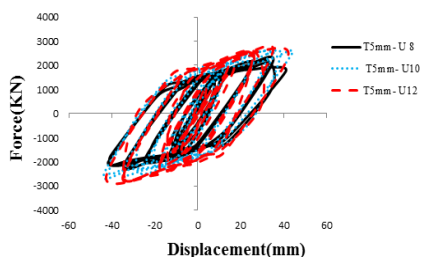
(۴)



(۳)



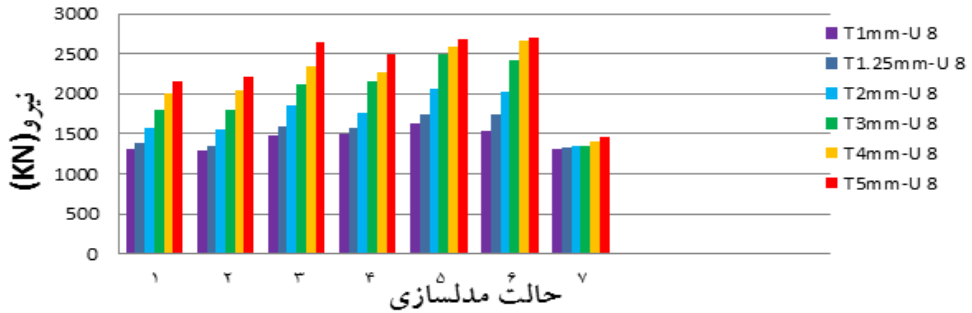
(۶)



(۵)

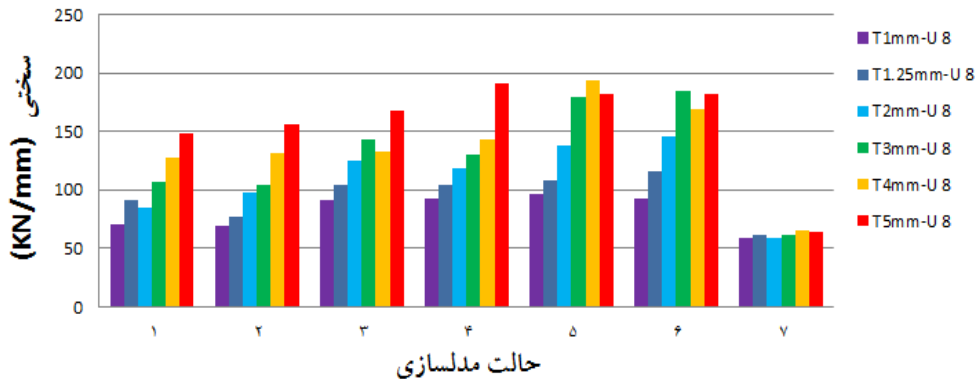
شکل ۱۰. نمودار هیستریزیس حالت اول مدل سازی دیوار برشی فولادی با ضخامت های ۱ (۱ میلی متر) ۲ (۲ میلی متر) ۳ (۳ میلی متر) ۴ (۴ میلی متر) ۵ (۵ میلی متر) ۶ (۶ میلی متر) و ابعاد مختلف ناودانی.

در شکل ۱۱ مقایسه مقادیر نیرو در حالت های مختلف مدل سازی با ضخامت های مختلف دیوار برشی فولادی و ناودانی شماره ۸ نشان داده شده است. با توجه به نمودار نشان داده شده، بیشترین مقدار نیروی قابل تحمل به مقدار ۲۶۹۷/۲۵ کیلونیوتن و مربوط به حالت پنجم مدل سازی با ضخامت دیوار برشی فولادی ۵ میلی متر و ناودانی شماره ۸ می باشد. همچنین کمترین مقدار نیروی قابل تحمل ۱۳۱۴/۲۸ کیلونیوتن و مربوط به حالت هفتم مدل سازی با ضخامت دیوار برشی فولادی ۱ میلی متر و ناودانی شماره ۸ می باشد.

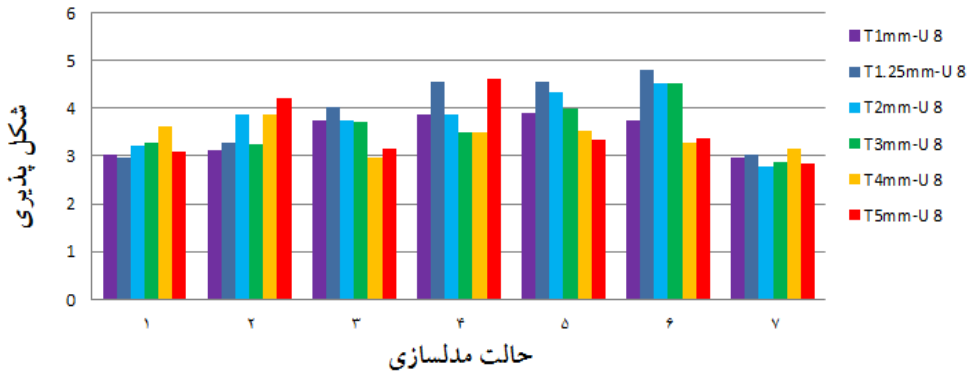


شکل ۱۱. مقایسه مقادیر نیرو در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی و ناودانی شماره ۸.

در شکل ۱۲ مقایسه مقادیر سختی در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی و ناودانی شماره ۸ نشان داده شده است. با توجه به نمودار نشان داده شده، بیشترین مقدار سختی مربوط به حالت‌های چهارم، پنجم و ششم می‌باشد. همچنین کمترین مقدار سختی مربوط به حالت هفتم می‌باشد. در شکل ۱۳ مقایسه مقادیر شکل‌پذیری در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی و ناودانی شماره ۸ نشان داده شده است. با توجه به نمودار نشان داده شده، بیشترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به حالت‌های چهارم، پنجم و ششم می‌باشد. همچنین کمترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به حالت هفتم می‌باشد.

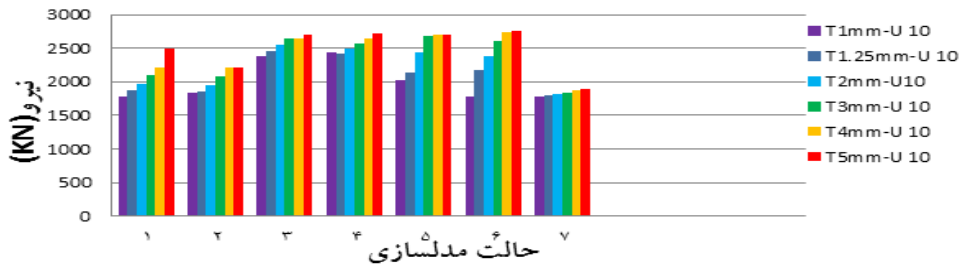


شکل ۱۲. مقایسه مقادیر سختی در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی و ناودانی شماره ۸.



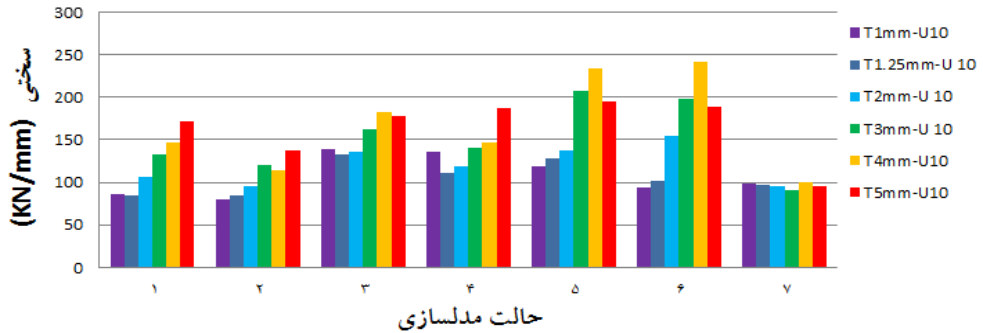
شکل ۱۳. مقایسه مقادیر شکل‌پذیری در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی و ناودانی شماره ۸.

در شکل ۱۴ مقایسه مقادیر نیرو در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی و ناودانی شماره ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به نمودار نشان داده‌شده، بیشترین مقدار نیروی قابل تحمل به مقدار ۲۷۶۲/۷۴ کیلونیوتن و مربوط به حالت ششم مدل‌سازی با ضخامت دیوار برشی فولادی ۵ میلی‌متر و ناودانی شماره ۱۰ می‌باشد. همچنین کمترین مقدار نیروی قابل تحمل ۱۷۷۵/۲۱ کیلونیوتن و مربوط به حالت هفتم مدل‌سازی با ضخامت دیوار برشی فولادی ۱ میلی‌متر و ناودانی شماره ۱۰ می‌باشد.

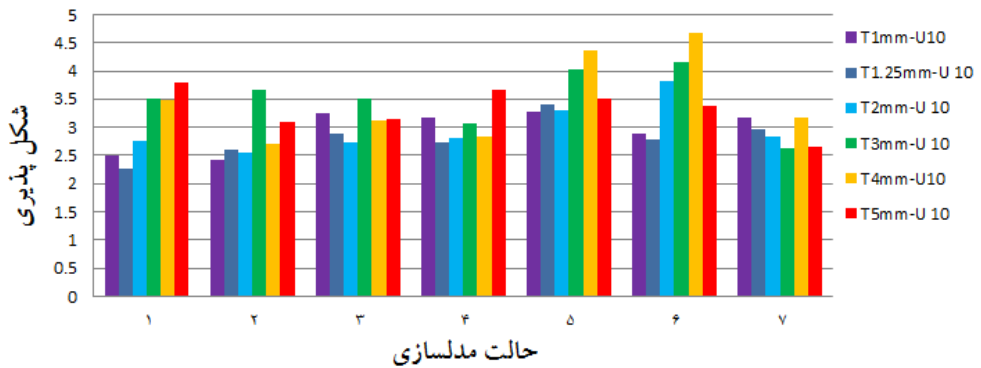


شکل ۱۴. مقایسه مقادیر نیرو در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی و ناودانی شماره ۱۰.

در شکل ۱۵ مقایسه مقادیر سختی در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی و ناودانی شماره ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به نمودار نشان داده‌شده، بیشترین مقدار سختی مربوط به حالت‌های سوم، چهارم، پنجم و ششم می‌باشد. همچنین کمترین مقدار سختی مربوط به حالت هفتم می‌باشد. در شکل ۱۶ مقایسه مقادیر شکل‌پذیری در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی و ناودانی شماره ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به نمودار نشان داده‌شده، بیشترین مقدار شکل‌پذیری، مربوط به حالت‌های پنجم و ششم می‌باشد. همچنین کمترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به حالت هفتم می‌باشد.

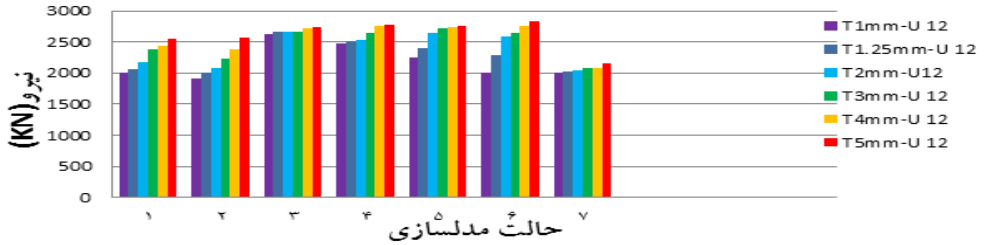


شکل ۱۵. مقایسه مقادیر سختی در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی و ناودانی شماره ۱۰.



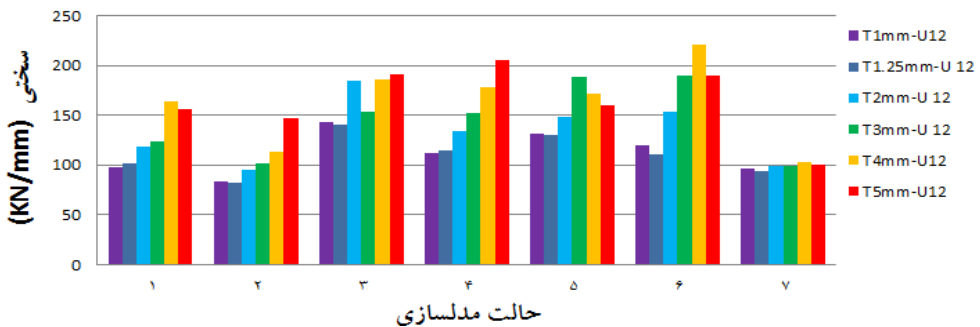
شکل ۱۶. مقایسه مقادیر شکل‌پذیری در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی و ناودانی شماره ۱۰.

در شکل ۱۷ مقایسه مقادیر نیرو در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی و ناودانی شماره ۱۲ نشان داده شده است. با توجه به نمودار نشان داده شده بیشترین مقدار نیروی قابل تحمل به مقدار ۲۸۳۹/۲۱ کیلونیوتن و مربوط به حالت ششم مدل‌سازی با ضخامت دیوار برشی فولادی ۵ میلی‌متر و ناودانی شماره ۱۲ می‌باشد. همچنین کمترین مقدار نیروی قابل تحمل ۲۰۱۰/۰۳ کیلونیوتن و مربوط به حالت اول مدل‌سازی با ضخامت دیوار برشی فولادی ۱ میلی‌متر و ناودانی شماره ۱۲ می‌باشد.

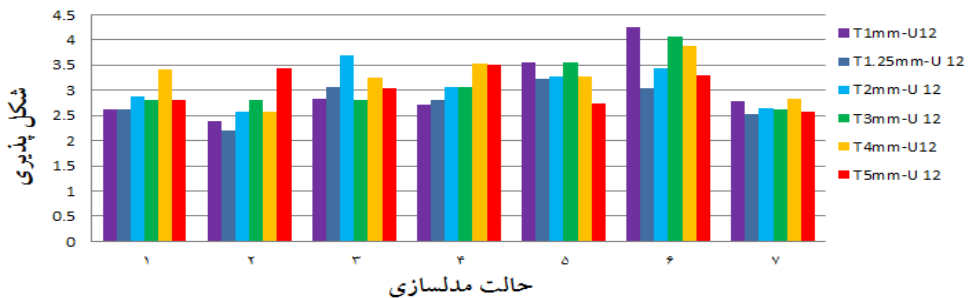


شکل ۱۷. مقایسه مقادیر نیرو در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی و ناودانی شماره ۱۲.

در شکل ۱۸ مقایسه مقادیر سختی در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی و ناودانی شماره ۱۲ نشان داده شده است. با توجه به نمودار نشان داده شده، بیشترین مقدار سختی مربوط به حالت‌های سوم، چهارم، پنجم و ششم می‌باشد. همچنین کمترین مقدار سختی مربوط به حالت هفتم می‌باشد. در شکل ۱۹ مقایسه مقادیر شکل‌پذیری در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی و ناودانی شماره ۱۲ نشان داده شده است. با توجه به نمودار نشان داده شده، بیشترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به حالت‌های پنجم و ششم می‌باشد. همچنین کمترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به حالت دوم و هفتم می‌باشد.

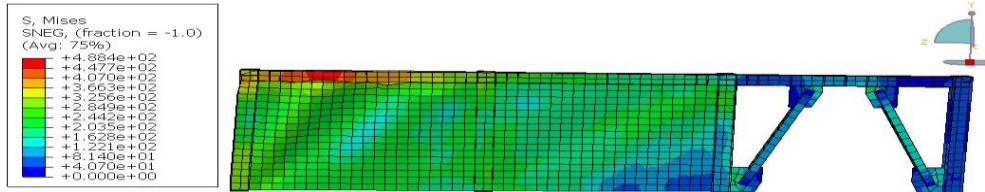


شکل ۱۸. مقایسه مقادیر سختی در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی و ناودانی شماره ۱۲.

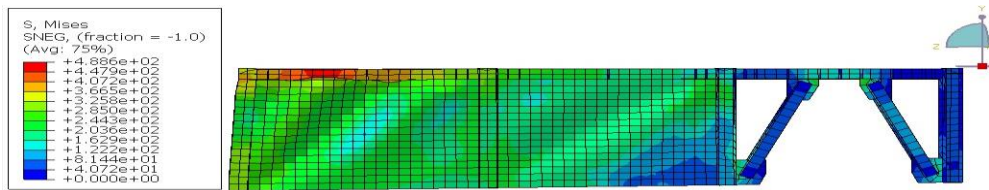


شکل ۱۹. مقایسه مقادیر سختی در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی و ناودانی شماره ۱۲.

با توجه به اینکه بیشترین مقادیر نیرو، در حالت ششم مدل‌سازی و دیوار برشی با ضخامت ۵ میلی‌متر می‌باشد در این بخش در مورد نحوه کمانش دیوار برشی فولادی و مهاربند توضیحاتی داده می‌شود. در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ نحوه کمانش قاب دارای دیوار برشی فولادی و مهاربند و اگر در حالت ششم مدل‌سازی با ضخامت ۵ میلی‌متر دیوار برشی فولادی و ناودانی نمره ۸ و ۱۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل‌ها ملاحظه می‌گردد که با افزایش نمره ناودانی و مهاربند و ضخامت دیوار برشی فولادی، میزان کمانش در این اعضا و دیوار برشی فولادی، کاهش یافته است.



شکل ۱۸. حالت ششم مدل‌سازی با ضخامت ۵ میلی‌متر دیوار برشی فولادی و ناودانی نمره ۸ و نحوه کمانش آن.



شکل ۱۹. حالت ششم مدل‌سازی با ضخامت ۵ میلی‌متر دیوار برشی فولادی و ناودانی نمره ۱۲ و نحوه کمانش آن.

با توجه به نتایج به دست آمده ملاحظه می‌گردد که در بحث گسیختگی بیشتر در دیوارهای برشی با ضخامت ۱ و ۱/۲۵ میلی‌متر نسبت به دیگر ضخامت‌های دیوار، بیشتر دچار کمانش و جمع‌شدگی در ورق دیوار شده است. همچنین در بحث کمانش مهاربندهای و اگر نیز در حالت‌های سه و چهار با ناودانی شماره ۸ نسبت به دیگر شماره‌ها بیشتر دچار کمانش و خرابی در مهاربندها اتفاق افتاده است.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مدل‌سازی هفت حالت مختلف ترکیب دیوار برشی فولادی و بایند و اگر با ضخامت‌های مختلف دیوار برشی فولادی و شماره‌های مختلف ناودانی بایند و اگر تحت بارگذاری چرخه‌ای بررسی شد. در ادامه به تجزیه و تحلیل حالت‌های مختلف مقادیر نیرو، سختی، شکل‌پذیری و مقایسه این حالت‌ها با یکدیگر و تنش پرداخته شد. با توجه به تجزیه و تحلیل مدل انجام شده نتایج زیر حاصل شد:

- ۱- در حالت مقایسه مقادیر نیرو در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت ۱ میلی‌متر دیوار برشی فولادی و ناودانی با شماره‌های مختلف کمترین مقدار نیرو مربوط به حالت هفتم مدل‌سازی ترکیب دیوار برشی فولادی و مهاربند و اگر در یک دهانه می‌باشد. همچنین بیشترین مقادیر نیرو، مربوط به حالت سوم مدل‌سازی که استفاده از مهاربند و اگر در دو دهانه و دیوار برشی فولادی در دهانه سوم می‌باشد.
- ۲- در حالت مقادیر نیرو در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت ۵ میلی‌متر دیوار برشی فولادی و ناودانی با شماره‌های مختلف ملاحظه می‌گردد که با افزایش ضخامت دیوار برشی فولادی از ۱ به ۵ میلی‌متر، کمترین مقدار نیرو مربوط به حالت اول مدل‌سازی ترکیب دیوار برشی فولادی در دهانه ابتدا و مهاربند

- واگرا در دهانه انتها می‌باشد. همچنین بیشترین مقادیر نیرو، مربوط به حالت ششم مدل‌سازی است که استفاده از مهاربند واگرا در یک دهانه و دیوار برشی فولادی در دو دهانه بعدی می‌باشد.
- ۳- در حالت مقایسه مقادیر درصد افزایش نیرو در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت ۱ میلی‌متر دیوار برشی فولادی و ناودانی با شماره‌های مختلف حالت ناودانی شماره ۸ که به‌عنوان مبنای مقایسه در نظر گرفته شده و مقادیر افزایش نیرو در حالت ناودانی نمره ۱۰ و ۱۲ نسبت به آن سنجیده شده است. کمترین مقدار درصد افزایش نیرو مربوط به حالت ششم مدل‌سازی ترکیب دیوار برشی فولادی در دو دهانه و مهاربند در یک دهانه و ناودانی نمره ۱۰ به مقدار ۱۵/۵۷ درصد افزایش نیرو می‌باشد. بیشترین مقدار نیرو، مربوط به حالت سوم مدل‌سازی استفاده از دو دهانه مهاربند واگرا و یک دهانه دیوار برشی فولاد و ناودانی نمره ۱۲ به مقدار ۷۷/۴۵ درصد می‌باشد.
- ۴- در حالت مقایسه مقادیر درصد افزایش نیرو در حالت‌های مختلف مدل‌سازی با ضخامت ۵ میلی‌متر دیوار برشی فولادی و ناودانی با شماره‌های مختلف در حالت ناودانی شماره ۸ که به‌عنوان مبنای مقایسه در نظر گرفته شده و مقادیر افزایش نیرو در حالت ناودانی شماره ۱۰ و ۱۲ نسبت به آن سنجیده شده است. کمترین مقدار درصد افزایش نیرو مربوط به حالت پنجم مدل‌سازی ترکیب دیوار برشی فولادی در دو دهانه و مهاربند در یک دهانه و ناودانی شماره ۱۰ به مقدار ۰/۶۵ درصد افزایش نیرو می‌باشد. بیشترین مقدار نیرو مربوط به حالت هفتم مدل‌سازی، استفاده از مهاربند واگرا و دیوار برشی فولادی در یک دهانه و ناودانی شماره ۱۲ به مقدار ۴۷/۲۱ درصد می‌باشد.
- ۵- با توجه به نتایج به‌دست‌آمده ملاحظه می‌گردد که با افزایش نمره ناودانی در حالت‌های ترکیب دیوار برشی فولادی و مهاربند واگرا میزان کمانش دیوار برشی، کاهش می‌یابد که بیشترین میزان کاهش، مربوط به حالت سوم مدل‌سازی است وقتی که دو دهانه مهاربند واگرا و یک دهانه دیوار برشی فولادی می‌باشد.
- ۶- در حالت مقایسه سختی حالت چهارم و پنجم مدل‌سازی دارای بیشترین مقدار می‌باشد و حالت هفتم مدل‌سازی دارای کمترین مقدار می‌باشد. در حالت مقایسه شکل‌پذیری نیز حالت‌های چهارم، پنجم و ششم مدل‌سازی دارای بیشترین مقدار شکل‌پذیری و حالت‌های دوم و هفتم دارای کمترین مقدار شکل‌پذیری در بین حالت‌های مختلف می‌باشد.

References

- [1] Astaneh-Asl, A. (2001). *Seismic behavior and design of steel shear walls*. Structural Steel Educational Council. https://www.researchgate.net/publication/345150698_Seismic_Behavior_and_Design_of_Steel_Shear_Walls
- [2] Qu, B., & Bruneau, M. (2010). Behavior of vertical boundary elements in steel plate shear walls. *Engineering Journal(Chicago)*, 47(2), 109-122. <https://www.eng.buffalo.edu/~bruneau/AISC%202010%20Qu%20Bruneau.pdf>
- [3] Emami, F., Mofid, M., & Vafai, A. (2013). Experimental study on cyclic behavior of trapezoidally corrugated steel shear walls. *Engineering Structures*, 48, 750-762. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.11.028>
- [4] Zhao, Q., & Astaneh-Asl, A. (2004, August 1-6). *Cyclic behavior of an innovative steel shear wall system*. Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada. https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_2576.pdf
- [5] Chan, R., Albermani, F., & Kitipornchai, S. (2011). Stiffness and Strength Of Perforated Steel Plate Shear Wall. *Procedia Engineering*, 14, 675-679. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.086>

- [6] Wang, M., Shi, Y., Xu, J., Yang, W., & Li, Y. (2015). Experimental and numerical study of unstiffened steel plate shear wall structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 112, 373-386. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.05.002>
- [7] Ma, Z.-Y., Hao, J.-P., & Yu, H.-S. (2018). Shaking-table test of a novel buckling-restrained multi-stiffened low-yield-point steel plate shear wall. *Journal of Constructional Steel Research*, 145, 128-136. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.02.009>
- [8] Xie, Z., Yan, W., Yu, C., Mu, T., & Song, L. (2018). Experimental investigation of cold-formed steel shear walls with self-piercing riveted connections. *Thin-Walled Structures*, 131, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2018.06.028>
- [9] Ghamari, A., Akbarpour, A., & Ghanbari, A. (2019). Improving behavior of semi-supported steel plate shear walls. *Journal of Central South University*, 26(10), 2891-2905. <https://doi.org/10.1007/s11771-019-4222-4>
- [10] Gorji Azandariani, M., Gholhaki, M., & Kafi, M. A. (2020). Experimental and numerical investigation of low-yield-strength (LYS) steel plate shear walls under cyclic loading. *Engineering Structures*, 203, 109866. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109866>
- [11] Razavi, S. A., Siahpolo, N., & Mahdavi Adeli, M. (2020). A New Empirical Correlation for Estimation of EBF Steel Frame Behavior Factor under Near-Fault Earthquakes Using the Genetic Algorithm. *Journal of Engineering*, 2020(8), 1-13. <https://doi.org/10.1155/2020/3684678>
- [12] Wijaya, M. N., Susanti, L., & Syafirra, S. (2021, August 12). *Effect of shear stirrup space on short link beam of eccentric braced frame (EBF) V-type under cyclic loading*. American Institute of Physics Conference Proceedings, Malaga, Indonesia. <https://doi.org/10.1063/50072627>
- [13] Krawinkler, H. (1992). *Guidelines for cyclic seismic testing of components of steel structures*. Applied Technology Council. https://books.google.com/books/about/Guidelines_for_Cyclic_Seismic_Testing_of.html?id=hQpZs4k38sEC