

Investigation of the Effect of Semi-Continuous Steel Shear Wall on the Seismic Performance of Concrete Frames by Numerical Method

Yasaman Najjari

M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Technology, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

Habib Akbarzadeh Bengar*

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Technology, University of Mazandaran, Babolsar, Iran (h.akbarzadeh@umz.ac.ir)

Seyedeh Mahdieh Miralami

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Rahman institute of higher education, Iran.

Research paper

Abstract

The steel shear wall is an efficient lateral load-bearing system for steel and concrete structures. These members have been gaining interest because of advantages such as high stiffness, fewer architectural limitations, light weight, and lower footprint in plan. When shear walls are used in a semi-continuous state in the structure, it is possible to consider an opening in the span without creating a hole in the shear wall. In the present study, numerical research was performed on the behavior of concrete frames containing a steel shear wall with a semi-continuous connection to the frame. First, the numerical model was validated using an experimental specimen. Then, by performing 33 nonlinear static analyses, the effect of the wall width and thickness on the seismic behavior of concrete frames was investigated. The width of the wall was considered to vary from 10 to 110 cm in 11 cases. In addition, the shear wall thickness was examined in 3 cases of 1, 2 and 3 mm, respectively. The outputs of the frame included energy loss, lateral stiffness, strength, and ductility of the frame. To calculate the shear wall stiffness, a formula was presented using the curve fitting technique based on numerical results. By using this formula, the wall stiffness can be estimated with good accuracy using its width and thickness. After comparing the results, it was observed that when the shear wall width in the frame was selected correctly, not only the stiffness and lateral strength of the frame increased, energy loss and ductility of the frame were 2.7 and 1.7 times those of the plain frame, respectively. By considering the ratio of the shear wall width to the frame span equal to 0.38, a proper width can be obtained for the shear wall.

Keywords: Concrete frame, Steel shear wall, Seismic behavior, Numerical analysis, Nonlinear static analysis.

*Corresponding Author: Habib Akbarzadeh Bengar

najjari, Y., Akbarzadeh Bengar, H., Miralami, S. M. Investigation of the Effect of Semi-Continuous Steel Shear Wall on the Seismic Performance of Concrete Frames by Numerical Method. *Journal of Concrete Structures and Materials*, 2022; 7(1): 137-154. <http://doi.org/10.30478/jcsm.2022.349973.1282>

2538-5828/ © 2021 The Authors. Published by Iranian Concrete Society

This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

بررسی تأثیر دیوار برشی فلزی نیمه پیوسته بر عملکرد لرزه‌ای قاب‌های بتنی به روش عددی

یاسمن نجاری

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مازندران، بابلسر

حبیب اکبرزاده بنگر*

دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مازندران، بابلسر

(نویسنده مسئول)

سیده مهدیه میراعلمی

استادیار و عضو هیات علمی گروه مهندسی عمران-سازه موسسه آموزش عالی رحمان رامسر

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

یکی از سیستم‌های باربر جانبی برای سازه‌های بتنی و فولادی، دیوارهای برشی فولادی هستند. این اعضا به دلیل مزایایی همچون، سختی زیاد، وزن کم، کاهش محدودیت معماری و ... مورد توجه قرار گرفته است. دیوارهای برشی اگر در حالت نیمه پیوسته در سازه به کار روند، در دهانه مورد نظر بدون ایجاد حفره در خود دیوار برشی، امکان ایجاد بازشو در دهانه مورد نظر وجود دارد. در پژوهش حاضر تحقیقاتی عددی بر روی رفتار قاب‌های بتنی مجهز به دیوار برشی فولادی نیمه پیوسته به قاب از جام گرفت. در ابتدا مدل عددی با استفاده از نمونه آزمایشگاهی صحت سنجی شد. سپس با از جام ۲۳ تحلیل استاتیکی غیرخطی، تأثیر عرض دیوار و ضخامت آن بر روی رفتار لرزه‌ای قاب‌های بتنی مورد بررسی قرار گرفت. به همین ترتیب عرض دیوار در ۱۱ حالت از ۱۰ تا ۱۱۰ سانتی‌متر متغیر در نظر گرفته شد. همچنین ضخامت دیوار برشی نیز در ۳ حالت به ترتیب ۱، ۲ و ۳ میلی‌متر مورد بررسی قرار گرفت. خروجی‌های مورد بررسی قاب شامل اتلاف انرژی، سختی جانبی، مقاومت و شکل‌پذیری بود. برای محاسبه سختی دیوار برشی یک فرمول طبق تکنیک برآزش منحنی بر اساس نتایج عددی ارائه شد که طبق آن می‌توان سختی دیوار را با استفاده از عرض و ضخامت آن با دقت خوبی تخمین زد. پس از مقایسه نتایج مشاهده شد زمانیکه عرض دیوار برشی در قاب به درستی انتخاب شود، علاوه بر افزایش سختی و مقاومت جانبی قاب، اتلاف انرژی و شکل‌پذیری قاب به ترتیب ۲/۷ و ۱/۷ برابر قاب تنها می‌شوند. برای انتخاب عرض مناسب دیوار برشی می‌توان مقدار آن را طوری در نظر گرفت که نسبت عرض دیوار برشی به عرض دهانه قاب برابر ۰/۳۸ باشد.

کلمات کلیدی: قاب بتنی، دیوار برشی فولادی، رفتار لرزه‌ای، تحلیل عددی، تحلیل استاتیکی غیرخطی.

تاکنون روش‌های زیادی برای مقاوم‌سازی جانبی قاب‌های بتنی ارائه شده است. یکی از این سیستم‌ها دیوارهای برشی نیمه‌پیوسته متصل به قاب است. در بسیاری از موارد به دلیل محدودیت‌های معماری از دیوارهای برشی نیمه‌پیوسته بهره‌جویی می‌کنیم. یکی از مزیت‌های دیوارهای برشی نیمه‌پیوسته به قاب این است که به دلیل فاصله داشتن با ستون تا لحظه نهایی هیچ‌گونه نیروی به ستون‌ها وارد نمی‌کند. از این رو استفاده از این سیستم می‌تواند باعث بهبود پارامترهای لرزه‌ای قاب شده و در مقابل حداقل آسیب نیز به عضو مهم سازه یعنی ستون وارد می‌شود. تاکنون بر روی رفتار دیوارهای برشی فولادی تحقیقات زیادی انجام گرفته است که در ادامه به چند مورد از آن‌ها اشاره شده است.

برای مقاوم‌سازی قاب‌های بتنی روش‌های زیادی معرفی شده است [۱-۴] که از جمله آن‌ها می‌توان از انواع مهاربندهای هم‌محور و برون‌محور، انواع ورق‌های برشی تسلیمی و دیوارهای برشی با سخت‌کننده نام برد. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از مهاربندهای هم‌محور در مقاوم‌سازی قاب‌های بتنی گرچه مقاومت و سختی آن‌ها را تا حد قابل توجهی افزایش می‌دهد ولی در مقابل موجب کاهش شدید پارامتر شکل‌پذیری می‌شود. همچنین استفاده از ورق‌های برشی تسلیمی باعث افزایش شکل‌پذیری و جذب انرژی قاب می‌شود و تا حد قابل قبولی نیز سختی و مقاومت آن را افزایش می‌دهد. همچنین بتن و سازه‌های بتنی به دلیل هزینه پایین‌تر آن نسبت به فولادی، به وفور در ساختمان‌سازی استفاده می‌شود. از آنجایی که بررسی آزمایشگاهی سازه‌های بتن مسلح مانند قاب خمشی هزینه‌بر می‌باشد، به همین منظور محققان برای بررسی هر چه دقیق‌تر این سازه‌ها از روش‌های عددی استفاده نموده‌اند [۵-۹]. در این تحقیقات، پیش‌بینی طول مفصل پلاستیک، مقاومت برشی، ظرفیت، رفتار چرخه‌ای سازه‌های بتنی در بارگذاری چندمحوره و همچنین پیش‌بینی پاسخ غیرخطی و حالت‌های خرابی قاب‌های بتنی مورد بررسی قرار گرفته است.

دیوارهای برشی یکی از سیستم‌های مقاوم جانبی است که مورد توجه زیادی از محققان قرار گرفته است. تیملر و کولاک [۱۰]، با هدف بررسی مدل پیشنهادی ثوربرن، تحقیقات آزمایشگاهی را بر روی دیوار برشی فولادی قاب‌های یک طبقه انجام دادند. نتیجه تحقیقات آن‌ها ارتقاء رابطه ثوربرن بود، به طوری که در مدل جدید، انرژی کرنشی خمشی در ستون‌های مرزی دیوار نیز در نظر گرفته می‌شد. علی‌نیا و همکاران [۱۱]، با استفاده از مدل‌های عددی اثر سخت‌کننده‌ها را بر روی دیوار برشی فولادی مورد بررسی قرار دادند، متغیرهای مدل‌های آن‌ها ضخامت و همچنین هندسه‌ی سخت‌کننده‌ها بود، خلاصه نتایج آن‌ها حاکی از افزایش مقاومت کمانشی ارتجاعی دیوار برشی فولادی با استفاده از سخت‌کننده‌ها بود. صبورقمی و همکاران [۱۲] مطالعات آزمایشگاهی و عددی بر روی دیوارهای برشی فولادی با و بدون سخت‌کننده‌های عرضی انجام دادند. این پژوهشگران تعداد دو قاب یک طبقه مجهز به دیوار برشی فولادی با و بدون سخت‌کننده ساختند و آزمایش کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که استفاده از سخت‌کننده‌ها به‌طور کلی موجب بهبود رفتار دیوار برشی فولادی می‌شود، به طوری که در حدود ۲۵٪ افزایش ظرفیت اتلاف انرژی و حدوداً ۵۰ درصد افزایش سختی برشی در دیوار برشی مشاهده شد. علوی و همکاران [۱۳]، به‌صورت آزمایشگاهی دیوارهای برشی فولادی که دارای بازشوی در ناحیه وسط آن بود، مورد بررسی قرار دادند. این محققان با استفاده از المان‌های قطری این دیوارها را مقاوم کرده و در چند چیدمان مختلف رفتار قاب را بررسی کردند. همچنین روابطی جهت تخمین مقاومت و سختی دیوار برشی ارائه دادند که انطباق خوب با روابط آزمایشگاه داشت. همچنین سخت‌کننده‌های قطری تا حد زیادی افت مقاومتی دیوار برشی را جبران کرد.

مرتضوی و همکاران [۱۴]، عملکرد چرخه‌های دیوارهای برشی فلزی یک طبقه دارای اتصال تیر به ستون به صورت صلب را مورد بررسی قرار دادند و تأثیر پارامترهایی از جمله ضخامت ورق میانی، سختی تیر و ستون، نسبت ابعاد ورق میانی و سخت‌کننده‌ها را بر روی آن ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که با افزایش ضخامت ورق میانی، استهلاک انرژی و مقاومت نهایی افزایش می‌یابد. قاسمیه و همکاران [۱۵]، تحقیقات عددی بر روی رفتار چرخه‌های دیوار برشی فولادی سخت شده و سخت نشده سازه چهار طبقه با اتصال تیر به ستون به صورت صلب از طریق دو مدل تحلیلی شامل مدل چند نواری و پیوسته انجام دادند و اثر پارامترهایی مانند ضخامت ورق میانی، سختی تیر و ستون و همچنین نسبت طول به دهانه دیوار برشی را روی آن بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش ضخامت ورق و سختی ستون، مقاومت نهایی و سختی سیستم افزایش پیدا می‌کند، در حالی که افزایش سختی تیر تأثیر زیادی بر عملکرد دیوار نداشته است. همچنین مشخص شد که افزایش طول دهانه به ارتفاع افزایش تأثیر زیادی روی رفتار دیوار برشی فولادی نخواهد داشت. لازم به ذکر است که با اضافه کردن ورق سخت‌کننده به دیوار، سختی مؤثر و مقاومت نهایی نیز مقداری جزئی افزایش خواهد داشت. شین و همکاران [۱۶]، با بررسی‌های عددی، تغییر رفتار سازه بر اثر وقوع رکوردهای متوالی زلزله را بررسی کردند. نتایج تحقیقات این محققان نشان‌دهنده کاهش نسبت جابجایی قابل توجه طبقات به سبب اضافه نمودن دیوار برشی فولادی بود. حسین‌زاده و همکاران [۱۷]، تأثیر آزادسازی اتصال ورق از ستون قاب برای دیوار برشی فولادی تحت بارگذاری‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند. این محققان تأثیر بارگذاری‌های چرخه‌ای، افزایشی و انفجاری را در این سازه‌ها مورد مطالعه قرار دادند. نتیجه این تحقیق نشان داد تحت بارگذاری چرخه‌ای، به دلیل کاهش نسبی مقاومت مدل و همچنین جذب انرژی توسط ورق در بارگذاری چرخه‌ای، میزان اتلاف انرژی در مدل نیمه‌پیوسته نسبت به مدل پیوسته نظیر آن کاهش قابل توجهی پیدا می‌کند. رحمان‌زاده و همکاران [۱۸]، با استفاده از روش اجزا محدود، اثر سخت‌کننده را روی عملکرد دیوار برشی فولادی یک طبقه با اتصال تیر به ستون به صورت صلب بررسی نمودند. نتایج نشان داد که اضافه کردن سخت‌کننده به صفحات میانی، بسته به میزان سختی سخت‌کننده‌ها موجب افزایش ظرفیت کمانشی ورق شده و همچنین موجب قابل توجه بیشتر سختی مؤثر، مقاومت نهایی و اتلاف انرژی می‌گردد و تقاضای نیروی را برای اعضای مرزی کاهش می‌دهد که این امر باعث طراحی ساده‌تر المان‌های مرزی نیز می‌شود. صابری و همکاران [۱۹]، تأثیر بازشو و چیدمان آن را در رفتار دیوار برشی فولادی انحنادار مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه تأثیر بازشوها با شکل‌های مختلف و همچنین چیدمان آن در دیوار برشی ارزیابی شد. نتایج این مطالعه نشان داد در صورت وجود سوراخ‌های یکسان در دیوار، بیشترین ظرفیت باربری مربوط به نمونه‌های دیوار دارای بازشو با هندسه دایره‌ای شکل است. کریمی و تحمیلی‌رودسری [۲۰] رفتار قاب‌های بتنی تقویت شده با استفاده از دیوار برشی فولادی و همچنین سیستم شبکه‌ای اعضای قطری در برابر بارهای چرخه‌ای مورد مطالعه قرار دادند. مدل‌های مورد بررسی در این مطالعه شامل سه نمونه قاب بتنی با مشخصات یکسان و مقیاس ۱:۳ بود. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده بهبود رفتار هر دو روش بهسازی قاب بتنی بود. به طوری که در این دو روش افزایش پارامترهای لرزه‌ای قاب نتیجه شد. مام‌عزیزی و ذبیحی [۲۱] عملکرد ورق میانی دیوار برشی فولادی دارای دو عدد بازشوی مستطیلی را به روش عددی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش ۶۴ درصدی پهنا، کاهش ۴۷ درصدی ارتفاع و ۳۲ درصدی ضخامت ورق پانل میانی، افزایش ۱۰۰٪ ارتفاع جان، ۱۴٪ پهنای بال و ۱۲۲٪ ضخامت ورق‌های سخت‌کننده‌ی قوطی شکل، موجب تغییر رفتار ورق میانی از خمشی به برشی می‌شود. پورحسن‌شهری و منصور [۲۲]، تأثیر ابعاد، شکل و همچنین موقعیت بازشو بر عملکرد لرزه‌ای دیوار برشی

فولادی متصل به تیر را مورد بررسی قرار دادند. تحلیل‌های انجام گرفته در این تحقیق به صورت عددی بود. نتایج ارائه شده در این تحقیق حاکی از این است که بحرانی‌ترین محل بازشو در مرکز ورق دیوار برشی بود. همچنین تأثیر نحوه اتصال دیوار برشی به قاب به صورت تحلیلی و عددی توسط آزندریانی و همکاران [۲۳] مورد بررسی قرار گرفته است که نشان دهنده اثربخشی بیشتر ضخامت دیوار برشی بر روی سختی و مقاومت در ابعاد بزرگتر دیوار برشی است. آزندریانی و همکاران [۲۴] با استفاده از روش تحلیلی و عددی تأثیر لینک‌های پیوند را در قاب‌های فولادی مجهز به دیوار برشی فولادی مورد بررسی قرار دادند تحقیقات این محققان نشان داد که پارامترهای نسبت کوپل تأثیر زیادی بر روی وزن سازه مخصوصاً در سازه‌های بلند دارد.

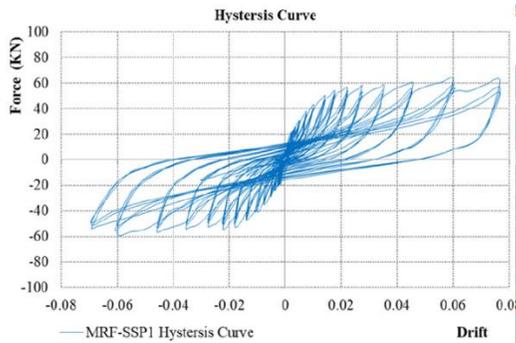
تحمیلی‌رودسری و همکاران [۲۵]، مطالعات آزمایشگاهی بر روی تأثیر دیوارهای برشی فولادی روی قاب بتنی انجام دادند این محققان تعدادی نمونه دیوار برشی فولادی متصل به تیر قاب اتصال داشتند در دو حالت با و بدون بازشو در دیوار برشی مورد بررسی قرار دادند، نتایج پژوهش آن‌ها نشان‌دهنده افزایش مقاومت و سختی قاب بوده و وجود بازشو در دیوار برشی تأثیری زیادی در کاهش سختی نداشته ولی مقدار مقاومت نهایی را حدود ۹ درصد کاهش می‌دهد. لان‌هوپی [۲۶]، بررسی‌هایی عددی بر روی دیوار برشی فولادی انجام دادند. در این تحقیق دیوار برشی به صورت نیمه‌پیوسته در نظر گرفته شده بود. آن‌ها با انجام تحلیل‌های عددی نتیجه گرفتند که این اعضا می‌توانند تا حد قابل قبولی مقاومت و شکل‌پذیری قاب را ارتقاء داده و باعث کاهش‌های آسیب وارده به ستون می‌شود.

با وجود تحقیقات انجام گرفته بر روی دیوارهای برشی فولادی هنوز ابهاماتی در خصوص تأثیر عرض و همچنین ضخامت دیوارهای برشی نیمه‌پیوسته بر روی رفتار لرزه‌ای قاب بتنی وجود داد. در تحقیقات آزمایشگاهی تحمیلی‌رودسری و همکاران [۲۵]، دیوارهای برشی نیمه‌پیوسته در قاب بتنی به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است.

در این تحقیق دیوار برشی با عرض ۵۰ سانتی‌متر بر روی قاب بتنی نصب گردید. از آنجاکه عرض این دیوار برشی تأثیر زیادی بر روی رفتار کلی این قاب دارد، در این تحقیق تأثیر عرض و ضخامت دیوار بر روی پارامترهای لرزه‌ای قاب بتنی با استفاده از نرم‌افزار المان محدود آباکوس مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا با استفاده از مدل آزمایشگاهی مدل عددی کالیبره شد. سپس عرض دیوار در ۱۱ حالت مختلف با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی مورد بررسی قرار گرفت. به همین ترتیب پس از استخراج نمودارهای نیرو-جابجایی، نمودار معادل دوخطی آن‌ها ترسیم شد. سپس پارامترهای سختی، مقاومت، اتلاف انرژی و شکل‌پذیری قاب‌ها از این نمودار استخراج و مورد بررسی قرار گرفت. از آنجاکه نسبت سختی دیوار برشی اضافه شده به قاب نقش زیادی بر روی رفتار کلی قاب دارد. برای محاسبه سختی دیوار یک فرمول بر اساس تکنیک برازش منحنی با استفاده از نتایج تحلیل‌های عددی ارائه می‌شود.

۲- جزئیات نمونه آزمایشگاهی تحمیلی و همکاران

تحلیل‌های انجام گرفته در این تحقیق به صورت عددی و با استفاده از نرم‌افزار آباکوس انجام گرفت. به همین منظور در این قسمت صحت‌سنجی مدل عددی انجام گرفت. بنابراین از قاب آزمایشگاهی که توسط تحمیلی‌رودسری و همکاران [۲۵] مورد آزمایش قرار گرفته استفاده شده است (شکل ۱). قاب مورد نظر به صورت یک طبقه، یک دهانه به صورت چرخه‌ای تحت بارگذاری قرار گرفته است. عرض و ضخامت دیوار برشی مدل آزمایشگاهی به ترتیب ۰/۵ و ۰/۰۱ متر بود.



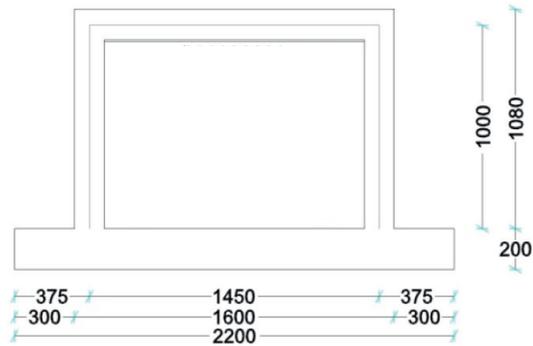
(ب)



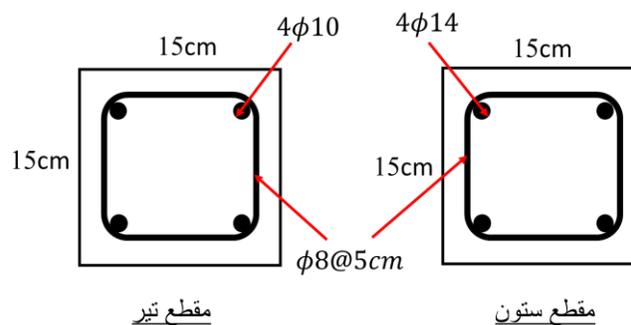
(الف)



(د)



(ج)



(ه)

شکل ۱- الف) مدل آزمایشگاهی (ب) نتایج هیستریزیس قاب مدل تحملی رودسری و همکاران (ج) ابعاد قاب (د) شرایط قاب در انتهای بارگذاری (ه) مقطع تیر و ستون قاب [۲۵]

۳- جزئیات شبیه‌سازی مدل عددی

برای مدل‌سازی بتن و میلگرد در آباکوس به ترتیب از المان توپر^۱ و خریابی^۲ استفاده شد. مدل‌سازی دیوار برشی فلزی و ورق اتصال فلزی آن به تیر به دلیل ضخامت کم با المان پوسته^۳ انجام گرفت [۲۷]. همچنین تحلیل مدل‌ها با روش استاتیکی^۴ انجام گرفت. در مدل عددی، رفتار هندسی غیرخطی مواد و تغییر شکل زیاد در نظر گرفته شد. از آنجاکه در طول بارگذاری هیچ‌گونه خرابی در پی و اتصال ستون به پی گزارش نشد [۲۵]، در مدل‌سازی به صورت خطی مدل شده است. در شکل ۲ مدل عددی و مش‌بندی آن قابل مشاهده است. ابعاد بهینه مش‌بندی قاب، میلگردها و همچنین دیوار برشی برابر ۴، ۵ و ۲/۵ سانتی‌متر حاصل شد.

- 1 Solid
- 2 Truss
- 3 Shell
- 4 Static General

برای تعریف خرابی بتن در آباکوس از مدل رفتاری بتن آسیب دیده پلاستیک (CDP) استفاده شد [۲۸]. این مدل رفتاری می‌تواند مکانیزم‌های خرابی بتن را به خوبی شبیه‌سازی کند، مدل رفتاری بتن آسیب دیده پلاستیک بتن را همچنین می‌توان جهت شبیه‌سازی خرابی بتن تحت اثر هرگونه بارگذاری پیچیده نیز به کار برد [۲۹]. در مدل‌سازی دو فرض خرد شدن بتن در فشار و ترک خوردگی در کشش در نظر گرفته شد. پارامترهای استفاده شده در رفتاری بتن آسیب دیده پلاستیک طبق جدول ۱ معرفی شد [۲]. در این جدول F_{b0}/f_{c0} نسبت تنش تسلیم فشاری چندمحوره به تنش تسلیم فشاری تک محوری اولیه را نشان می‌دهد، K نسبت تنش ثابت دوم روی نصف النهار کششی است. همچنین $Viscosity\ Parameter$ مقدار زاویه اتساع برای بتن مسلح تعریف شده است. مشخصات مصالح بتن در کشش و فشار و همچنین مشخصات دیوار برشی فولادی استفاده شده در مدل عددی در شکل ۳ ارائه شد. نمودار تنش بتن در فشار با استفاده از فرمول ۱ [۲] در آباکوس معرفی شد. در این فرمول σ'_c برابر تنش فشاری مجاز بتن است که طبق نمونه آزمایشگاهی برابر $34/7$ مگاپاسگال گزارش شده است. ϵ'_c در این فرمول برابر کرنش نظیر مقاومت حداکثر بتن است که برابر $0/002$ در نظر گرفته شده است. خرابی بتن در کشش و فشار طبق فرمول ۲ در نرم افزار آباکوس تعریف شد. طبق این فرمول σ_c و f_c به ترتیب معرف تنش و مقاومت بتن است.

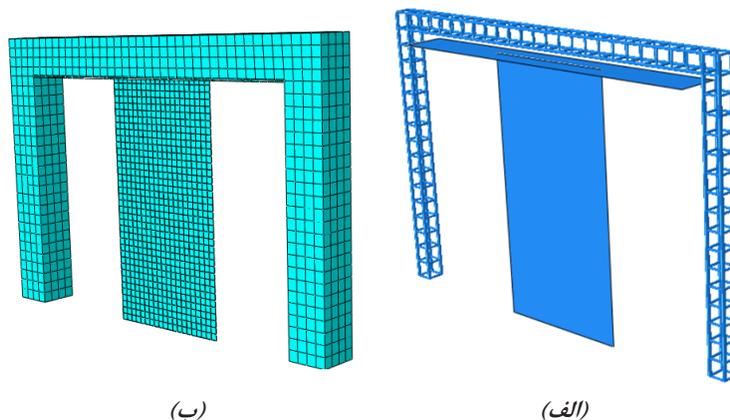
میلگردهای قاب به صورت مدفون^۱ در بتن مدل‌سازی شدند. اتصال بین دیوار برشی به ورق فوقانی و همچنین ورق اتصال بین دیوار برشی و قاب به صورت کاملاً گیردار^۲ مدل‌سازی شد. تحلیل در آباکوس به صورت جابجایی کنترل انجام گرفت. به طوری که جابجایی $0/075$ متر به صورت جانبی به قاب اعمال شد و نمودار نیرو-جابجایی آن استخراج گردید.

جدول ۱- معرفی پارامترهای خرابی بتن

Dilation Angel	Eccentricity	Fb0/fc0	K	Viscosity Parameter
۳۴	۰/۱	۰/۱۶	۰/۱۶۶۷	۰/۰۰۱

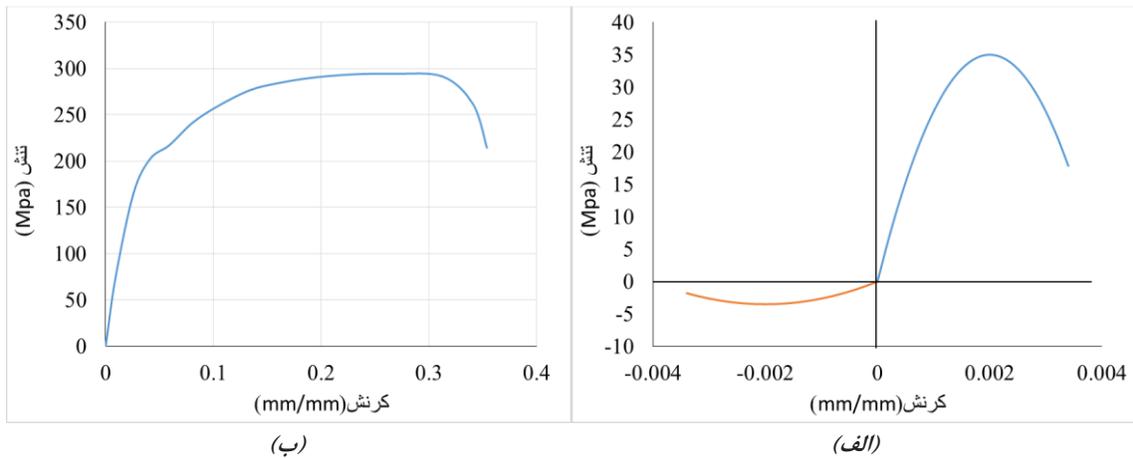
$$\sigma_c = \sigma'_c \left[2 \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon'_c} \right) - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon'_c} \right)^2 \right] \quad (1)$$

$$d_c = 1 - \frac{\sigma_c}{f_c} \quad (2)$$



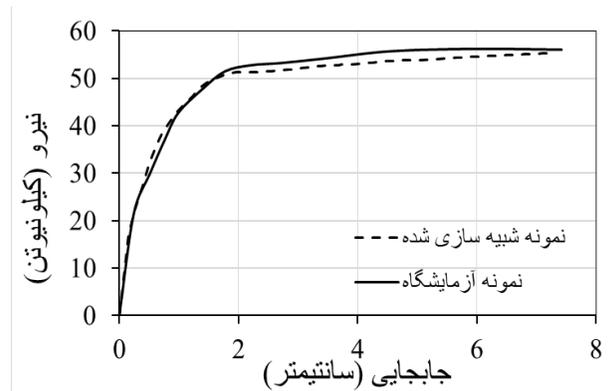
شکل ۲- الف) المان میلگرد طولی و عرضی قاب ب) مش بندی قاب و دیوار برشی فلزی

1 Embedded region
2 Tie



شکل ۳- الف) مشخصات مصالح بتن در کشش و فشار ب) مشخصات مصالح فولاد دیوار برشی

پس از محاسبه نمودار نیرو-جابجایی قاب، نتایج آن با مدل آزمایشگاهی مقایسه شد که در شکل ۴ نشان داده شده است. می توان مشاهده کرد که نتایج تا حد قابل قبولی به هم نزدیک هستند و می توان برای تحلیل های بیشتر مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۴- مقایسه نتایج آباکوس و آزمایشگاه [۲۵]

۴- تحلیل پارامتری

برای بررسی تأثیر دقیق عرض و ضخامت دیوار برشی فولادی تحلیل های پارامتری بر روی قاب مجهز به دیوار برشی انجام شد. به همین منظور ۳۳ مدل به صورت جدول ۲ معرفی شد. در این جدول نام گذاری و مشخصات مصالح مدل ها نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود نام هر مدل به صورت M-a-b معرفی شده که a معرف عرض دیوار برشی بر حسب سانتی متر و b ضخامت دیوار برشی بر حسب میلی متر است.

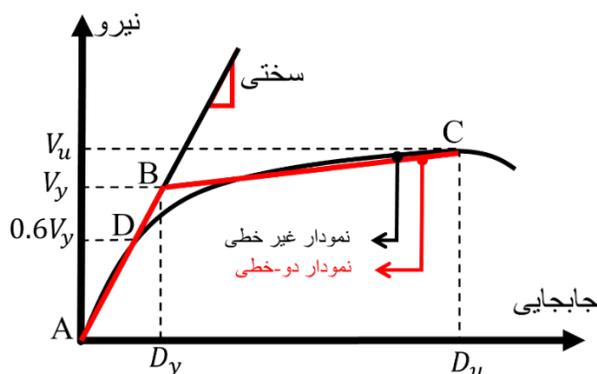
جدول ۲- معرفی مدل های عددی جهت بررسی

نام مدل	عرض دیوار برشی (سانتی متر)	ضخامت دیوار برشی (میلی متر)
M-10-1, M-20-1, ... , M-110-1	10, 20, ... , 110	1
M-10-2, M-20-2, ... , M-110-2	10, 20, ... , 110	2
M-10-3, M-20-3, ... , M-110-3	10, 20, ... , 110	3

۵- خروجی های مدل عددی

پس از استخراج نیرو-جابجایی مدل های اصلی، در هر گام بارگذاری نمودار نیرو-جابجایی آن ها محاسبه شد. سپس برای محاسبه سختی، مقاومت، اتلاف انرژی و شکل پذیری قاب ها نمودار ساده شده دو-خطی آن ها طبق دستورالعمل FEMA [۳۰] ترسیم گردید. طبق این دستورالعمل هر دو نمودار باید در ۰/۶ نیروی تسلیم همدیگر را قطع کرده و

مساحت زیر دو نمودار نیز برابر باشد. باید دقت شود که نیروی تسلیم قاب از نیروی نهایی آن بیشتر نشود. در شکل شماتیک نمودار غیرخطی و دوخطی آن در شکل ۵ نشان داده شده است. در این نمودار V_u و V_y به ترتیب برش نهایی و برش تسلیم جانبی تعریف می‌شود. همچنین D_u و D_y جابجایی برش تسلیم و نهایی قاب است.



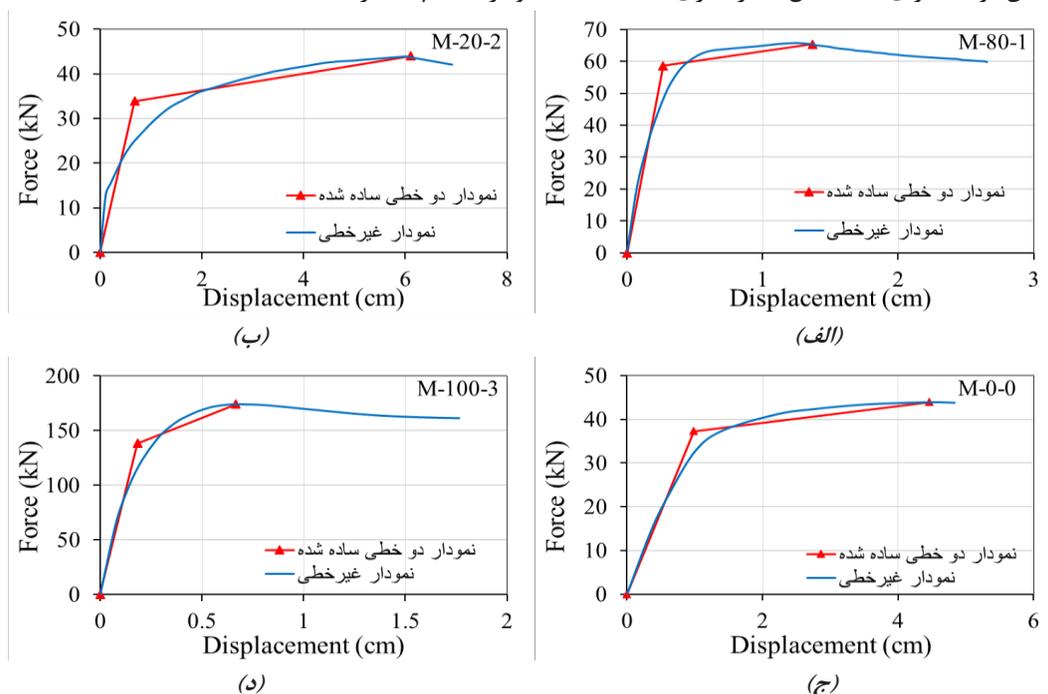
شکل ۵- شماتیک نمودار غیرخطی و دو-خطی ساده‌شده نیرو-جابجایی

به همین ترتیب پارامترهای شکل‌پذیری و سختی به ترتیب طبق معادلات ۳ و ۴ تعریف می‌شود. مقاومت نهایی نیز برابر نیروی حداکثر مدل (V_u) و اتلاف انرژی برابر مساحت زیر نمودار تا نقطه افت است.

$$Ductility = \frac{D_u}{D_y} \quad (۳)$$

$$K_e = \frac{V_y}{D_y} \quad (۴)$$

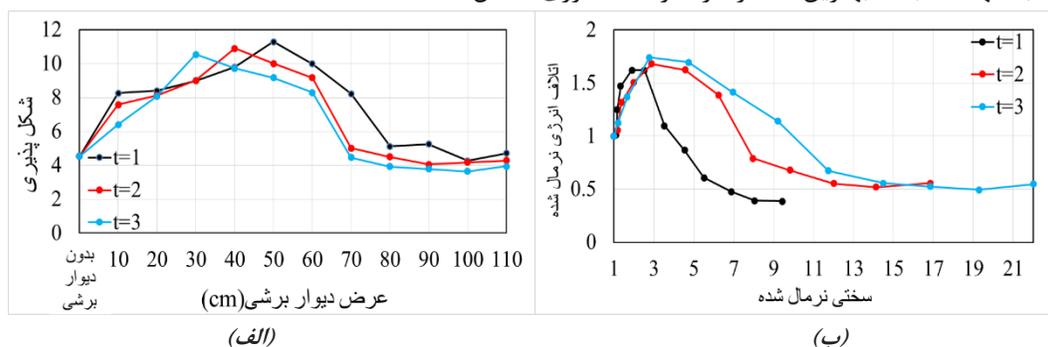
در شکل ۶ چند مورد از نمودارهای نیرو-جابجایی و همچنین دوخطی معادل آن‌ها به عنوان مثال نشان داده شده است. به همین ترتیب برای کلیه مدل‌ها بارگذاری تا نقطه افت نمودار ادامه پیدا کرد.



شکل ۶- نمودارهای نیرو-جابجایی و دوخطی معادل مربوط به مدل‌های

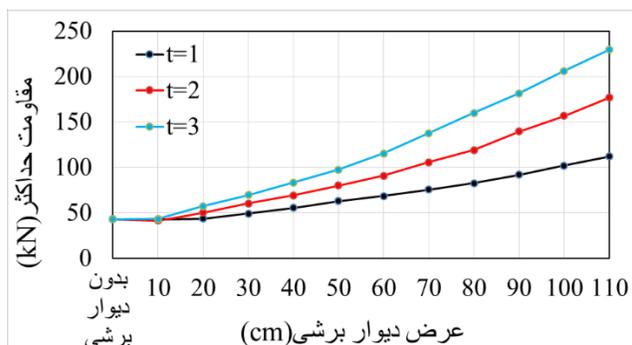
الف) M-80-1 (ب) M-20-2 (ج) قاب بدون دیوار برشی [۲۵]. (د) M-100-3

پس از استخراج کلیه نمودارهای غیرخطی و دوخطی-معادل آن‌ها، پارامترهای اتلاف انرژی، سختی، مقاومت و شکل‌پذیری استخراج شد. در شکل ۷ (الف) شکل‌پذیری دیوار برشی را نسبت به عرض و ضخامت دیوار نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود که با افزایش عرض دیوار برشی از ۱۰ سانتی‌متر تا ۳۰، ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر برای ضخامت‌های ۳، ۲ و ۱ میلی‌متر به صورت صعودی بوده و پس از آن افت پیدا کرده است. می‌توان مشاهده کرد که دیوار برشی با ضخامت ۱ میلی‌متر نسبت به ضخامت‌های دیگر باعث افزایش بیشتر شکل‌پذیری قاب شده است. زمانی که عرض دیوار برشی از ۷۰ سانتی‌متر باشد، شکل‌پذیری قاب مجهز به دیوار برشی از قاب تنها هم کمتر حاصل شده است. در قاب مورد بررسی بیشترین شکل‌پذیری مربوط به عرض دیوار برشی ۵۰ سانتی‌متر و ضخامت آن ۱ میلی‌متر باشد. همچنین می‌توان مشاهده کرد که با افزایش عرض دیوار برشی بیش از ۷۰ سانتی‌متر شکل‌پذیری تقریباً ثابت است. شکل‌پذیری قاب مجهز به دیوار برشی ۲/۵ برابر قاب تنها بوده است. محور عمودی و افقی نمودار ۶ (ب) به ترتیب اتلاف انرژی نرمال شده (نسبت به قاب تنها) را نسبت به سختی نرمال شده نسبت به قاب تنها را نشان می‌دهد. هر نقطه از این نمودار نشان دهنده نسبت اتلاف انرژی و سختی نرمال شده قاب مجهز به دیوار برشی را نسبت به قاب تنها ۲/۷ باشد بهترین عملکرد از نظر اتلاف انرژی حاصل شد.



شکل ۷- تأثیر عرض و ضخامت دیوار برشی بر روی الف) شکل‌پذیری (ب) اتلاف انرژی

شکل ۸ تأثیر عرض و ضخامت دیوار برشی را بر روی مقاومت قاب نشان می‌دهد. می‌توان مشاهده کرد که با بیشتر شدن ضخامت و عرض دیوار برشی، مقاومت جانبی قاب با سرعت بیشتری افزایش پیدا کرده است. به عبارتی رابطه بین افزایش عرض دیوار برشی و مقاومت جانبی قاب غیر خطی می‌باشد. با افزایش ضخامت دیوار برشی شیب این نمودار افزایش پیدا کرده است. همچنین می‌توان مشاهده کرد زمانی که عرض دیوار برشی کم باشد، ضخامت دیوار برشی تأثیر کمتری بر روی مقاومت داشته است.



شکل ۸- تأثیر عرض و ضخامت دیوار برشی بر روی مقاومت جانبی قاب

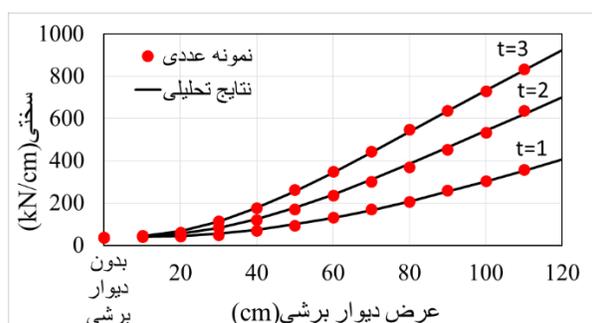
در این بخش سختی قاب نسبت به عرض و ضخامت دیوار مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۹ تأثیر عرض و ضخامت دیوار برشی بر روی سختی قاب نشان می‌دهد. می‌توان مشاهده کرد که نتایج آن شبیه به نتایج مقاومت

است و با افزایش عرض و ضخامت دیوار برشی به سختی قاب افزوده شده است. همچنین زمانی که عرض دیوار زیاد باشد تأثیر ضخامت دیوار بر روی سختی قابل توجه تر بوده است.

از آنجاکه سختی دیوار برشی اضافه شده به قاب نقش مهمی بر رفتار کلی آن دارد، برای محاسبه سختی قاب مجهز به دیوار برشی با تکنیک برازش منحنی، با استفاده از نتایج مدل سازی عددی قاب های مدل شده، فرمول ۵ پیشنهاد شده است. طبق این فرمول می توان سختی قاب مجهز به دیوار برشی را با دقت قابل قبولی محاسبه کرد. نتایج حاصل از مدل عددی و فرمول ۵ در شکل ۹ نشان داده شده است. می توان مشاهده کرد که نتایج مطابقت بسیار بالایی دارد و با استفاده از فرمول می توان سختی قاب را به خوبی تخمین زد. لازم به ذکر است که ضخامت و عرض دیوار برشی باید بر حسب سانتی متر در این فرمول وارد شد. به همین ترتیب نتایج سختی با واحد KN/cm حاصل خواهد شد.

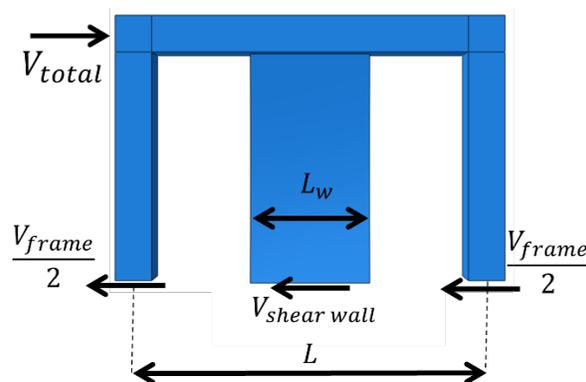
$$K_e = K_{frame} + \frac{0.082 \times b^{1.72} \times t^{1.37}}{b^{-0.81} + 0.0013 \times b \times t} \quad (5)$$

$$K_{frame} = 38.433 \text{ KN/cm} \quad (6)$$



شکل ۹- نتایج سختی حاصل از مدل عددی و فرمول ۵

پس از وارد شدن نیروی جانبی به قاب، این نیرو طبق قانون فنرهای موازی به نسبت سختی بین دیوار برشی و قاب تقسیم می شود [۳۱]. طبق شکل ۱۰ مشاهده می شود که نیروی متحمل شده توسط دیوار برشی رابطه مستقیم با ضخامت و عرض دیوار برشی دارد.



شکل ۱۰- تقسیم نیروی جانبی بین قاب و دیوار برشی

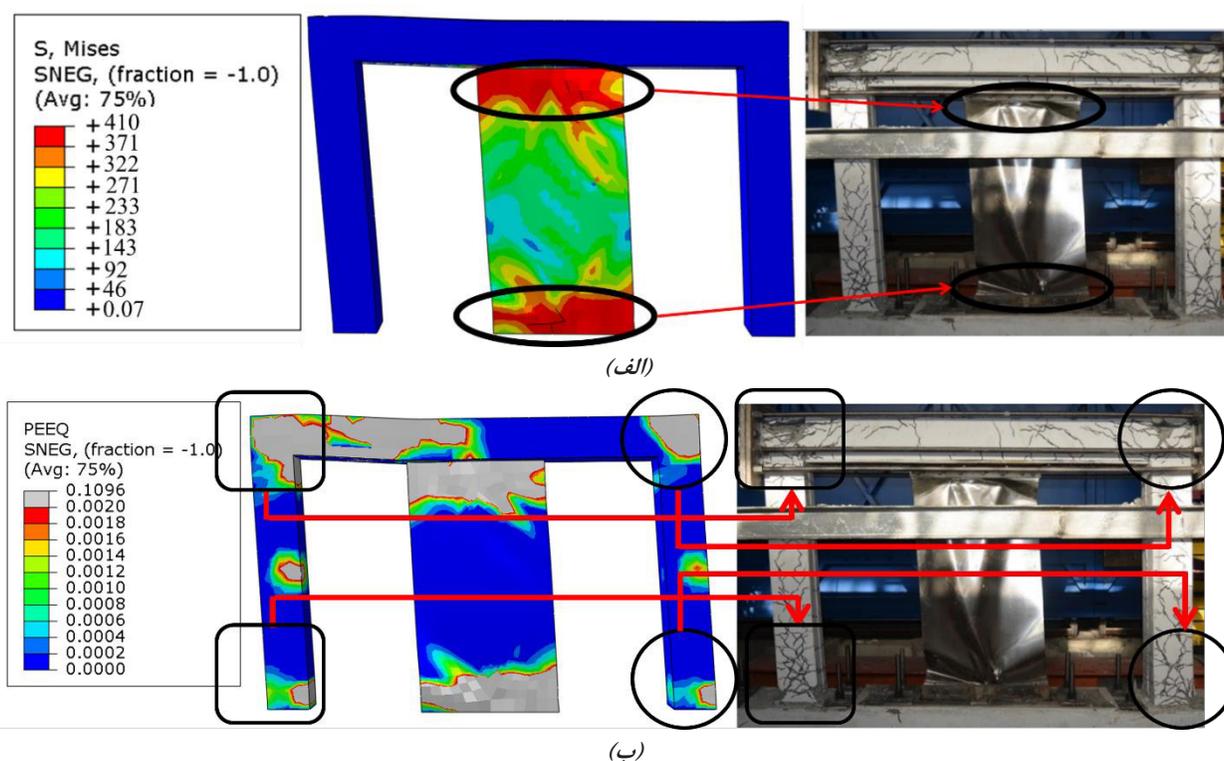
همچنین با تغییر عرض و ضخامت دیوار برشی نیروی جذب شده توسط آن نیز تغییر می کند. بنابراین برای طراحی قاب مجهز به دیوار برشی در نظر گرفتن نکات زیر حائز اهمیت است:

- اگر عرض دیوار برشی کم ($L_w/L > 0.38$) باشد، تأثیر آن بر روی قاب ناچیز است. همچنین اگر عرض آن زیاد باشد ($L_w/L < 0.38$) طبق نتایج شکل پذیری و اتلاف انرژی (شکل ۷) باعث تأثیر منفی در قاب می شود.

- با افزایش عرض دیوار نسبت به قاب موجب افزایش سختی و مقاومت قاب می‌شوند که در نیروی متحمل شده آن در طول زلزله تأثیرگذار است.
- در طراحی این نوع دیوار برشی باید دقت شود که نسبت سختی دیوار برشی به قاب طوری تنظیم شود که قاب بهترین رفتار را از نظر شکل‌پذیری و اتلاف انرژی داشته باشد. در قاب حاضر زمانی که عرض دیوار در حالتی که $L_w/L=0.38$ باشد قاب رفتار قابل قبولی داشت.

۶- تأثیر دیوار برشی بر تنش‌های ایجاد شده در مدل

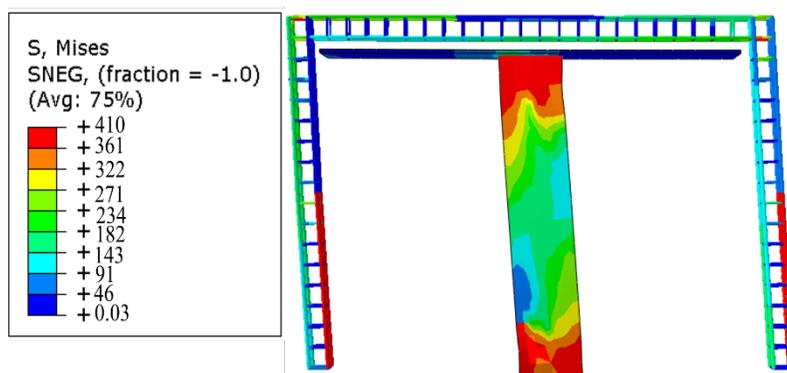
در شکل ۱۱ الف کانتور تنش فون میزس ۱ مدل عددی و همچنین نمونه آزمایشگاهی نظیر آن در جابجایی نهایی نشان داده شده است. مشاهده می‌شود در مدل عددی بیشترین تنش در قسمت بالا و پایین دیوار برشی رخ داده است. این نواحی در مدل آزمایشگاهی نیز بیشترین کماتش را تجربه کرده‌اند. همچنین با نزدیک شدن به ناحیه میانی دیوار برشی، مقدار تنش ایجاد شده در آن کاهش پیدا کرده است. در شکل ۱۱ ب مقایسه کانتور کرنش بتن در انتها بارگذاری نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود مفاصل پلاستیک در مدل عددی در پای ستون و همچنین اتصالات قاب ایجاد شده است که این نواحی در مدل آزمایشگاهی نیز ترک‌های زیادی را تجربه کرده است.



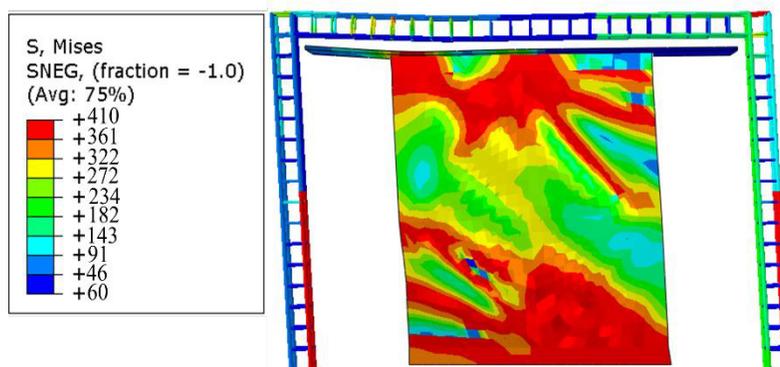
شکل ۱۱- کانتور تنش فون میزس مدل M-50-1 الف) مقایسه تنش ایجاد شده در مدل عددی دیوار برشی با مدل آزمایشگاهی (واحد تنش بر حسب MPa است) ب) مقایسه خرابی قاب بتنی آزمایشگاهی با مدل عددی

برای بررسی میزان تأثیری عرض دیوار برشی بر روی تنش‌های فون میزس مدل، در شکل ۱۲ و ۱۳ دو نمونه از تنش‌های ایجاد شده در مدل‌های با عرض $L_w/L < 0.38$ و $L_w/L > 0.38$ ارائه شده است. مشاهده می‌شود زمانیکه عرض دیوار برشی کم باشد، تنش‌های ایجاد شده در قسمت بالا و پایین آن متمرکز شده است. با افزایش عرض

دیوار، تنش‌ها در قسمت میانی دیوار نیز افزایش پیدا کرده‌اند. با توجه تنش‌های ایجاد شده در میلگردهای هر دو مدل می‌توان مشاهده کرد که تنش در میلگردهای ستون‌ها در هر دو حالت تقریباً یکسان است. ولی با افزایش عرض دیوار برشی تنش‌های بیشتری در میلگردهای تیر ایجاد شده است.

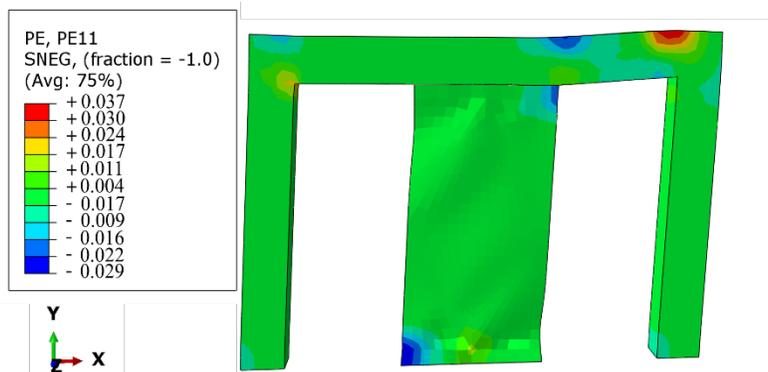


شکل ۱۲- کانتور تنش فون میزس دیوار برشی و میلگردها M-20-1 (واحد تنش بر حسب MPa است)

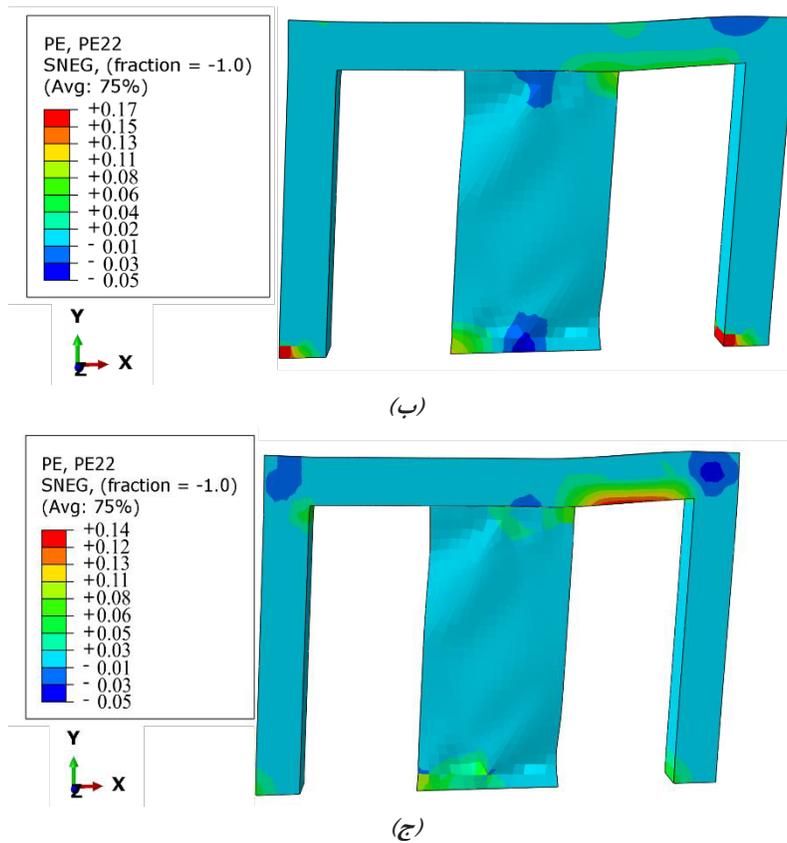


شکل ۱۳- کانتور تنش فون میزس دیوار برشی و میلگردها M-80-1 (واحد تنش بر حسب MPa است)

در شکل ۱۴ کانتور کرنش مدل M50-1 را نشان می‌دهد. این مدل یکی از نمونه‌های با بهترین رفتار در پارامتر اتلاف انرژی و شکل‌پذیری به شمار می‌آید. در شکل ۱۴ کانتور کرنش در جهت‌های اصلی، که مدل بیشترین مقدار را تجربه کرده است نشان می‌دهد. می‌توان مشاهده کرد در شکل‌های ۱۴ کرنش بتن جهت (xx) در کرنش در جهت نیروی بارگذاری (xx) در بالای ستون سمت راست بیشترین مقدار را داشته است. همچنین کرنش بتن در جهت (yy) در پای ستون‌های سازه، در محل کشش، حداکثر است. نهایتاً کرنش برشی (xy) در قسمت زیر تیر، که نیروی دیوار برشی به آن اعمال می‌شود حداکثر بوده است.



(الف)



شکل ۱۴ - کانتور کرنش مدل در جهت الف) کرنش طولی در جهت x، ب) کرنش طولی در جهت y، ج) کرنش برشی در صفحه xy

۷- بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق رفتار دیوارهای برشی نیمه‌پیوسته به قاب، به روش عددی مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی، مدل عددی کالیبره شد و ۳۳ تحلیل استاتیکی غیرخطی روی قاب انجام گرفت. خلاصه نتایج این تحقیق در بندهای زیر خلاصه شده است:

- زمانیکه ضخامت دیوار برشی ۱، ۲ و ۳ میلی‌متر باشد و عرض دیوار برشی به ترتیب برابر ۵۰، ۴۰ و ۳۰ سانتی بود بهترین عملکرد از نظر شکل‌پذیری حاصل شد. به‌طوری‌که در این حالات شکل‌پذیری قاب مجهز به دیوار برشی به ترتیب ۲/۵ برابر قاب تنها حاصل شد.
- در دیوار برشی فولادی که دارای ضخامت ۱ میلی‌متر هستند. با انتخاب نسبت عرض دهانه قاب به عرض دیوار برشی ۳/۲۵ تا ۲/۶، اتلاف انرژی ۶۲٪ افزایش پیدا می‌کند. در قاب‌های با ضخامت دیوار برشی به ترتیب ۲ و ۳ میلی‌متر در مدل‌هایی با نسبت عرض دهانه به عرض دیوار برشی به ترتیب ۳/۲۵ و ۲/۶، اتلاف انرژی قاب مجهز به دیوار برشی به ترتیب ۶۸٪ و ۶۹٪ بیشتر از قاب تنها بود.
- با مشاهده نتایج تأثیر ضخامت و عرض دیوار برشی بر روی مقاومت مدل‌ها مشاهده شد که با افزایش عرض و ضخامت دیوار برشی به صورت غیرخطی به مقاومت قاب افزوده شد. همچنین با افزایش عرض دیوار برشی، ضخامت تأثیر بیشتری بر روی مقاومت داشت.
- با افزایش ضخامت و عرض دیوار برشی، سختی مؤثر قاب افزایش پیدا کرد. با افزایش ضخامت دیوار برشی شیب افزایش سختی قاب نیز بیشتر شد.
- برای محاسبه سختی جانبی دیوار برشی یک فرمول با روش برازش منحنی بر اساس نتایج تحلیل‌های عددی ارائه شد که طبق آن می‌توان سختی دیوار برشی را بر اساس عرض و ضخامت آن با دقت قابل قبولی تخمین زد.

- تغییر عرض دیوار برشی تأثیری ناچیزی بر تنش‌های ایجاد شده در میلگردهای ستون قاب دارد؛ اما با افزایش عرض دیوار برشی تنش‌های ایجاد شده در تیر افزایش پیدا می‌کنند. همچنین حداکثر کرنش برشی در ناحیه زیر تیر ایجاد شد. بیشترین کرنش‌های محوری نیز در ناحیه بالا و پایین ستون ایجاد شد.
- زمانیکه نسبت سختی دیوار برشی به قاب تنها برابر ۲/۷ برابر قاب تنها باشد، می‌توان اطمینان حاصل کرد که سازه از نظر شکل‌پذیری و اتلاف انرژی بهترین رفتار را دارد.

مراجع

- [1] Karimi, R., TahamouliRoudsari, M., *Quasi-static cyclic testing of RC frames retrofitted using steel plate shear walls and diagonal tensile mesh*, *Asian Journal of Civil Engineering* 22(7) (2021) 1301-1318.
- [2] TahamouliRoudsari, M., Cheraghi, K., Habibi, M.R., *Investigation of retrofitting RC moment resisting frames with ADAS yielding dampers*, *Asian Journal of Civil Engineering* 20(1) (2019) 125-133.
- [3] TahamouliRoudsari, M., Entezari, A., Hadidi, M., Gandomian, O., *Experimental assessment of retrofitted RC frames with different steel braces*, *Structures*, Elsevier, 2017, pp. 206-217.
- [4] TahamouliRoudsari, M., Eslamimanesh, M., Entezari, A., Noori, O., Torkaman, M., *Experimental assessment of retrofitting RC moment resisting frames with ADAS and TADAS yielding dampers*, *Structures*, Elsevier, 2018, pp. 75-87.
- [5] Azadi Kakavand, M.R., Neuner, M., Schreter, M., Hofstetter, G., *A 3D continuum FE-model for predicting the nonlinear response and failure modes of RC frames in pushover analyses*, *Bulletin of Earthquake Engineering* 16(10) (2018) 4893-4917.
- [6] Azadi Kakavand, M.R., Sezen, H., Taciroglu, E., *Data-driven models for predicting the shear strength of rectangular and circular reinforced concrete columns*, *Journal of Structural Engineering* 147(1) (2021) 04020301.
- [7] Azadi Kakavand, M.R., Taciroglu, E., *An enhanced damage plasticity model for predicting the cyclic behavior of plain concrete under multiaxial loading conditions*, *Frontiers of Structural and Civil Engineering* 14(6) (2020) 1531-1544.
- [8] Azadi Kakavand, M.R., Allahvirdizadeh, R., *Enhanced empirical models for predicting the drift capacity of less ductile RC columns with flexural, shear, or axial failure modes*, *Frontiers of Structural and Civil Engineering* 13(5) (2019) 1251-1270.
- [9] Feng, D.-C., Chen, S.-Z., Kakavand, M.R.A., Taciroglu, E., *Probabilistic Model Based on Bayesian Model Averaging for Predicting the Plastic Hinge Lengths of Reinforced Concrete Columns*, *Journal of Engineering Mechanics* 147(10) (2021) 04021066.
- [10] Timler, P.A., Kulak, G.L., *Experimental study of steel plate shear walls*, (1983).
- [11] Alinia, M.M., Sarraf Shirazi, R., *On the design of stiffeners in steel plate shear walls*, *Journal of Constructional Steel Research* 65(10) (2009) 2069-2077.
- [12] Sabouri-Ghomi, S., Sajjadi, S.R.A., *Experimental and theoretical studies of steel shear walls with and without stiffeners*, *Journal of Constructional Steel Research* 75 (2012) 152-159.
- [13] Alavi, E., Nateghi, F., *Experimental study on diagonally stiffened steel plate shear walls with central perforation*, *Journal of Constructional Steel Research* 89 (2013) 9-20.
- [14] Mortazavi, S., Ghassemieh, M., Ghobadi, M., *Research on the behavior of the steel plated shear wall by finite element Method*, *Journal of Structures* 2013 (2013).
- [15] Ghassemieh, M., Heidari, N., *Parametric analysis of steel plated shear structures*, *Journal of Central South University* 21(5) (2014) 2083-2090.

- [16] Shin, J., Kim, J., Lee, K., *Seismic assessment of damaged piloti-type RC building subjected to successive earthquakes*, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 43(11) (2014) 1603-1619.
- [17] hosseinzade, A.A., kazemi, a., Barkhordari, M.A., mirzaei, m., *Nonlinear behavior of steel plate shear wall connected to frame beams only under Various Loading conditions*, *Journal of Structural and Construction Engineering* 7(Special Issue 2) (2020) 257-272.
- [18] Rahmzadeh1a, A., Ghassemieh1b, M., Park, Y., Abolmaali, A., *Effect of stiffeners on steel plate shear wall systems*, *Steel and composite structures* 20(3) (2016) 545-569.
- [19] saberi, h., saberi, v., hosseini, m., HABIBZADEH, S., *Evaluation of the performance of perforated steel shear wall with different layers and geometric shapes of holes*, *Journal of Structural and Construction Engineering* 8(Special Issue 1) (2021) 448-473.
- [20] Karimi, R., TahamouliRoudsari, m., *Assessment of Seismic Specification of Retrofitting RC Moment Resisting Frames Using Inclined Tensile Members Mesh and Unstiffened Steel Shear Walls- An Experimental Study*, *Journal of Structural and Construction Engineering* 8(Special Issue 3) (2021) 6-23.
- [21] Mamazizi, A., Zabihi, S., *Theoretical investigation of the middle panel in steel plate shear walls with two rectangular openings*, *Journal of Structural and Construction Engineering* 8(10) (2021) 252-277.
- [22] Pourhasan shahri, M., Mansouri, A., *Investigation on the effect of the shape, size and location of openings on the seismic behavior of steel plate shear walls connected to frame beams only*, *Journal of Structural and Construction Engineering* 7(Special Issue 3) (2020) 53-66.
- [23] Azandariani, M.G., Rousta, A.M., Mohammadi, M., Rashidi, M., Abdolmaleki, H., *Numerical and analytical study of ultimate capacity of steel plate shear walls with partial plate-column connection (SPSW-PC)*, *Structures*, Elsevier, 2021, pp. 3066-3080.
- [24] Azandariani, M.G., Kafi, M.A., Gholhaki, M., *Innovative hybrid linked-column steel plate shear wall (HLCS) system: Numerical and analytical approaches*, *Journal of Building Engineering* 43 (2021) 102844.
- [25] TahamouliRoudsari, M., Torkaman, M., Entezari, A.R., Rahimi, H., Niazi K, K., *Experimental investigation of strengthening reinforced concrete moment resisting frames using partially attached steel infill plate*, *Structures* 19 (2019) 173-183.
- [26] Guo, L., Rong, Q., Ma, X., Zhang, S., *Behavior of steel plate shear wall connected to frame beams only*, *International Journal of Steel Structures* 11(4) (2011) 467-479.
- [27] Hibbitt, K., Sorensen, I., *ABAQUS/Standard user's Manual Volumes I-III and ABAQUS CAE Manual, Version, 2014.*
- [28] Lee, J., Fenves, G.L., *Plastic-damage model for cyclic loading of concrete structures*, *Journal of engineering mechanics* 124(8) (1998) 892-900.
- [29] Jankowiak, T., Lodygowski, T., *Identification of parameters of concrete damage plasticity constitutive model*, *Foundations of civil and environmental engineering* 6(1) (2005) 53-69.
- [30] Council, B.S.S., *NEHRP recommended provisions: Design examples (FEMA 451)*, *Federal Emergency Management Agency, Washington, DC* (2006) 05-05.
- [31] Hibbeler, R.C., Tan, K.-H., *Structural analysis*, *Pearson Prentice Hall Upper Saddle River* 2006.