

Experimental study of parameters affecting the behavior of moment-Resisting steel frames including masonry infill walls

Mehrzad TahamouliRoudsari ^{1*}, Mehdi Kahrizi ², Morteza Torkaman ³, Kaihan Asvar ³, Mohammad Rezaee ³, Ali Azizpour ³, Behroz Dolatiari ³, AliAhmad Gholami ³

1- Associate Professor, Department of Civil Engineering, College of Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.

2 -Ph.D in Civil Engineering, Department of Civil Engineering, College of Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.

3- MSc Student in Civil Engineering, Department of Civil Engineering, College of Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

ABSTRACT

The effect of masonry walls on the behavior of steel frames is one of the important issues of seismic response of structures. In this experimental study, the behavior of steel frames with masonry infill walls has been investigated and the effect of brick type, wall thickness, and wall openings has been evaluated. Seven 1:3, single-span and one-floor steel frame specimens were tested under the influence of quasi-static loading. All specimens except one had an infill wall. In these samples, three types of brick materials, two types of thickness and two types of openings were tested and evaluated. The bricks used in the infill walls were non-perforated clay bricks, perforated clay bricks and common lightweight clay blocks in Iran. The type and dimensions of openings were also adjusted according to the common dimensions used in a variety of buildings. The results show that the type of materials used in the infill walls, the wall thickness and the presence of openings have a significant effect on the seismic behavior of the structures. The infill wall significantly reduces structural ductility, while increasing its stiffness and ultimate strength. Therefore, in moderate to strong earthquakes, the infill wall has a negative effect on the structural behavior. In addition, the infill wall increases strain due to the imposed of localized deformation in the frame members. However, it reduces the strain on the panel zone.

ARTICLE INFO

Receive Date: 05 December 2019

Revise Date: 08 March 2020

Accept Date: 10 March 2020

Keywords:

Steel frame
Masonry infill wall
Brick type
Opening
Experimental study

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.210637.2014>

*Corresponding author: Mehrzad TahamouliRoudsari
Email address: tahamouli@iauksh.ac.ir

مطالعه آزمایشگاهی پارامترهای موثر بر رفتار قابهای فولادی دارای دیوارهای

میانقاب بنایی

مهرزاد تحملی رودسری^{۱*}، مهدی کهریزی^۲، مرتضی ترکمان^۳، کیهان اسور^۳، محمد رضایی کرمانجانی^۳، مهدی عزیزپور^۳

بهروز دولتباری^۳، علی احمد غلامی^۳

۱- دانشیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

۲- دکتری مهندسی عمران سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

چکیده

اثر دیوارهای میانقاب بنایی بر رفتار قابهای فولادی، همواره یکی از موضوعات مهم و مورد توجه در بررسی رفتار لرزه ای سازه ها می باشد. در این مطالعه آزمایشگاهی، رفتار قاب های فولادی دارای دیوار میانقاب بنایی مورد بررسی قرار گرفته و اثر نوع مصالح آجری، ضخامت دیوار و وجود بازشو در دیوار ارزیابی شده است. هفت نمونه آزمایشگاهی قاب فولادی با مقیاس یک سوم بصورت یک دهانه و یک طبقه و با بارگذاری یکنواخت شبه استاتیکی مورد آزمایش قرار گرفتند. یک نمونه فاقد دیوار میانقاب و شش نمونه دیگر دارای دیوار میانقاب بودند که در این نمونه ها سه نوع مصالح آجری، دو نوع ضخامت و دو نوع بازشو مورد آزمایش و ارزیابی قرار گرفت. آجرهای مورد استفاده در اجرای پانل دیوار میانقاب از نوع آجر رسی بدون سوراخ، آجر رسی سوراخدار و بلوک های سفالی سبک متداول در ایران بودند. نوع و ابعاد بازشوها نیز مطابق ابعاد متداول مورد استفاده در انواع ساختمان ها منظور گردید. نتایج آزمایشات نشان می دهد که نوع مصالح مصرفی در دیوارهای میانقاب، ضخامت دیوار و همچنین وجود بازشو تاثیر قاب توجهی بر رفتار لرزه ای سازه دارد. میانقاب باعث کاهش قابل توجه شکل پذیری سازه، افزایش سختی و مقاومت نهایی آن میگردد. بنابراین در زلزله های متوسط تا قوی، میانقاب اثری منفی بر رفتار سازه دارد. ضمناً میانقاب به علت تحمیل تغییرشکل های موضعی به اعضای قاب، کرنش موجود در آنها را افزایش میدهد ولی باعث کاهش کرنش در چشمه اتصال خواهد شد.

کلمات کلیدی: قاب فولادی، میانقاب بنایی، نوع آجر، بازشو، مطالعه آزمایشگاهی.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.210637.2014	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2020.210637.2014	۱۴۰۰/۰۳/۳۰	۱۳۹۸/۱۲/۲۰	۱۳۹۸/۱۲/۲۰	۱۳۹۸/۱۲/۱۸	۱۳۹۸/۰۹/۱۴
مهرزاد تحملی رودسری tahamouli@iauksh.ac.ir					*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

استفاده از مصالح بنایی در اجرای دیوار، دارای قدمت بسیار زیادی است و از گذشته های دور رایج بوده است. این مصالح بخش های وسیعی از ساختمانهای جهان را به خود اختصاص داده و هم اکنون نیز علیرغم گسترش مصالح جدید، همچنان مورد استفاده قرار می گیرند. یکی از موارد استفاده مصالح بنایی در ساختمان، اجرای دیوارهای جداکننده بین قابهای فولادی یا بتن مسلح است. اجرای دیوار میانقاب به دلیل افزایش سختی و مقاومت، موجب تغییر رفتار لرزه ای قاب در حین وقوع زلزله و تغییر قابل توجه پاسخ دینامیکی سازه خواهد شد.

معمولاً میانقابه‌ها به عنوان اعضای غیر سازه ای در نظر گرفته می شوند و اغلب مهندسین سازه از اثرات آنها چشم پوشی می کنند. نادیده گرفتن اثرات میانقاب، از جهت افزایش مقاومت در جهت اطمینان است اما با افزایش سختی جانبی سازه، ممکن است باعث افزایش نیروی زلزله گردد. از طرفی به دلیل ترد بودن مصالح دیوار میانقاب، پس از سیکل های اول بارگذاری، تخریب زود هنگام دیوار اتفاق افتاده و کاهش شدید باربری جانبی سازه و اکثراً کاهش شکل پذیری را به دنبال خواهد داشت.

در ۵۰ سال اخیر مطالعات گسترده ای بر روی تاثیرات میانقاب و عملکرد لرزه ای آنها انجام گردیده و تقریباً تمام نتایج آنها حاکی از این است که میانقابه‌ها دارای تاثیر قابل ملاحظه ای در سختی و مقاومت قاب هستند و این اثرات باید در طراحی سازه ها مد نظر قرار گیرند. همچنین توصیه ها و پیشنهادهایی برای تعیین ضوابط جدید در آیین نامه های زلزله ارائه شده است [۱-۲]. در بین سالهای ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۰ گزارشهای متعددی از مطالعات قابهای دارای میانقاب ارائه شده است. در این گزارشات مواردی همچون تاثیر میانقابه‌ها بر سختی و مقاومت قاب، نحوه توزیع تنش و کرنش در میانقاب، حالت‌های شکست در میانقابه‌ها و تاثیر وجود بازشوها مورد بررسی قرار گرفته است [۳-۶].

در یک دیوار مصالح بنایی محصور شده توسط قاب، با اعمال بار جانبی، یک ترک پله ای در طول قطر بارگذاری شده تشکیل شده و شروع به گسترش می نماید. با افزایش بار، قسمتهایی از محیط پانل میانقاب با تیر و ستون قاب تماس یافته و با این سطح تماس در مقابل بارهای وارده مقاومت می کند. سطح تماس محدودیتی جهت جلوگیری از گسیختگی دیوار ایجاد کرده و باعث می شود میانقاب بار بیشتری تحمل کند. با افزایش روند بارگذاری، عرض ترک قطری بیشتر شده و در نهایت با ایجاد ترک های جدید، گسیختگی نهایی رخ می دهد. این رفتار در مراجع مختلف توسط محققان متعددی گزارش شده است [۷-۱۱]. برای مدل سازی این رفتار، منطقی است که میانقاب به صورت ترکیبی از دو ناحیه قطری در نظر گرفته شود. از این رو برخی محققین با انجام تحقیقات تجربی گسترده ای بر روی مقاومت و سختی جانبی میانقابه‌های آجری، استفاده از یک عضو مورب معادل را برای مدل سازی قاب دارای میانقاب بنایی پیشنهاد نمودند [۱۲-۱۶].

به منظور حفظ ایمنی سازه و جلوگیری از آسیب دیدگی قاب و دیوار میانقاب در هنگام وقوع زلزله، برخی محققین نتایج حاصل از تحقیق تجربی بر روی قاب های دارای میانقابه‌های مهندسی با شکل پذیری بالا و سیستم های جداساز لرزه ای را ارائه نمودند. علی یاری و معماری [۱۷] یک سیستم جداساز لرزه ای برای استفاده در قابهای دارای دیوار میانقاب آجری معرفی نمودند این سیستم طوری طراحی شده است که ضمن کنترل اثر متقابل قاب و میانقاب تحت اثر بارهای جانبی، مانند یک فیوز برای جلوگیری از شکست دیوار عمل کند. محمدی و اکرمی [۱۸] نتایج حاصل از یک تحقیق تجربی بر روی تعدادی قاب دارای میانقابه‌های مهندسی با شکل پذیری بالا و مقاومت قابل تنظیم را گزارش نمودند. در این نوع قابها یک فیوز کشویی اصطکاکی به میانقاب اضافه شده است که در نتیجه ظرفیت تغییر شکل را افزایش و افت مقاومت را کاهش می دهد.

در برخی از پژوهش ها، تاثیر وجود بازشو در میانقابه‌های بنایی مورد بررسی قرار گرفته است. محب خواه و همکاران [۱۹] یک مدل عددی دو بعدی با استفاده از روش المان گسسته (DEM) برای تحلیل استاتیکی غیر خطی میانقاب بنایی دارای بازشو با اعمال بار یکنواخت در صفحه مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی مشخص شد مدل مذکور می تواند با اطمینان کافی برای پیش بینی بار انهدام و بررسی حالت های ممکن شکست در میانقابه‌های با مصالح بنایی دارای بازشو مورد استفاده قرار گیرد. تسنیمی و محب خواه [۲۰] در یک برنامه آزمایشی، رفتار لرزه ای قابهای فولادی دارای میانقاب آجری با بازشو را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد قابهای با

میانقاب دارای بازشو بر خلاف تصور، همیشه انعطاف پذیرتر از میانقابهای صلب نیستند و شکل پذیری این نوع قابها بستگی به حالات شکست میانقابها دارد. چن و لیو [۲۱] یک مطالعه اجزاء محدود جهت بررسی رفتار و مقاومت میانقاب های بلوک بتنی محصور در قابهای فولادی، با تمرکز بر میانقابهای دارای بازشو ارائه نمودند. در این پژوهش تاثیر اندازه و محل قرار گیری بازشو ها بر رفتار و مقاومت قابهای دارای میانقاب مطالعه شد. نتایج نشان داد که حضور بازشوها سبب کاهش سختی و مقاومت میانقابها در صفحه می گردد و میزان این کاهش به محل قرارگیری بازشو وابسته می باشد. همچنین بر اساس تحلیل رگرسیون در نتایج المان محدود، یک روش آنالیز ساده برای تعریف رابطه بین کاهش استحکام و مقاومت با اندازه بازشوها و محل آنها ارائه گردید.

در تحقیقاتی دیگر رفتار دیوارهای بنایی تحت اثر بارهای جانبی، با تغییر در پارامترهایی مانند نوع آجر، نسبت های متغیر آرماتورهای طولی و عرضی، ایجاد بازشوی در و پنجره، ضخامت دیوار میانقاب و تسلیح دیوار میانقاب با میلگرد، پلاستر ماسه و سیمان و نوارهای GFRP مورد بررسی قرار گرفته است. اوکایل و همکاران [۲۲] رفتار دیوارهای بنایی محدود تحت اثر بارهای جانبی را مورد بررسی قرار دادند. پانل های دیوار با تنظیمات مختلفی شامل دیوارهای یکپارچه، دیوارهای دارای بازشوی در و پنجره، نسبت های متغیر آرماتورهای طولی و عرضی، انواع آجرهای مختلف رسی و بتنی بررسی شدند. یک مدل المان محدود نیز ساخته شد که نتایج آن مشابه نتایج آزمایش تجربی می باشد. نتایج تجربی نشان داد که مقاومت آجر و میزان محصورشدگی، نقش مهمی در افزایش مقاومت نهایی و جابجایی شکل پذیر دیوار ایفا می کنند. عیسی و همکاران [۲۳] نیز تاثیر دیوار میانقاب آجری را بر شکل پذیری و رفتار قابهای بتن مسلح با مقاومت بالا، مورد توجه قرار دادند. پارامترهای متغیر مورد مطالعه در نمونه ها شامل مقایسه حالات وجود میانقاب و عدم وجود میانقاب، تغییر ضخامت دیوار میانقاب و تغییر نوع آجر بود. در این مطالعه مقایسه مقادیر مقاومت، شکل پذیری و جذب انرژی این قابها ارائه شده است. یک مطالعه آزمایشگاهی توسط عبدالحافظ و همکاران [۲۴] با هدف بررسی رفتار میانقابهای تقویت شده در قابهای بتن مسلح، تحت اثر بارهای داخل صفحه انجام شد. نمونه های این مطالعه شامل قاب بدون میانقاب، قاب با میانقابهای غیر مسلح و نیز میانقابهای مسلح شده با میلگرد، پلاستر ماسه و سیمان و نوارهای GFRP بود. نتایج نشان داد استفاده از این روش های تقویت، موجب بهبود تغییر مکان نسبی، شکل پذیری و بار شکست و همچنین افزایش ظرفیت قاب برای مقاومت در برابر بار جانبی می گردد.

در برخی از مطالعات تجربی و عددی نیز به بررسی راه حلهایی برای مهار مناسب میانقاب و قاب پرداخته شده است. در این مطالعات ضمن بررسی انواع مهارهای دیوار میانقاب و قاب فولادی، استفاده از میراگرهای ADAS برای مهار دیوار میانقاب توصیه گردیده و پارامترهای موثر بر رفتار این نوع مهار مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. کهریزی [25] در یک مطالعه آزمایشگاهی و عددی رفتار دیوار میانقاب آجری با جزییات مختلف اتصال به قابهای فولادی را مورد بررسی قرار داده است. در این مطالعه انواع مختلف مهار میانقاب آجری و قاب فولادی مورد بررسی قرار گرفته و مناسب ترین مهار با عملکرد مطلوب معرفی شده است. کهریزی و تحمیلی [26] در یک مطالعه آزمایشگاهی و عددی، پارامترهای موثر بر رفتار دیوارهای میانقاب بنایی متصل به قابهای فولادی با میراگر تسلیم شونده ADAS را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه ابتدا نتایج آزمایشگاهی ۳ نمونه قاب یک طبقه و یک دهانه ارائه شده است. سپس مدل های تحلیلی با استفاده از نرم افزار ABAQUS صحت سنجی شده و پارامترهای موثر بر رفتار قاب دارای مهار میراگر تسلیم شونده ADAS مورد بررسی قرار گرفته اند. تاثیر هر یک از این پارامترها بر توزیع تنش، مدهای شکست دیوار، سختی، مقاومت، شکل پذیری و میزان اتلاف انرژی ارزیابی گردیده است.

به علت استفاده زیاد از دیوارهای میانقاب مصالح بنایی در ساختمانهای متداول، مطالعه پارامترهای موثر دیوارمیانقاب بر رفتار سازه در حین وقوع زلزله موضوعی کاربردی و مهم است. اگر چه مطالعات متعددی در خصوص تاثیرات دیوار میانقاب بر رفتار قاب وجود دارد، اما تنوع آجر و مصالح بنایی با اشکال و مقاومت های مختلف و رفتارهای متفاوت سازه های بتنی و فولادی، نیاز به مطالعات گسترده تر را در این زمینه ایجاب مینماید. بر این اساس در این تحقیق و در یک برنامه آزمایشی، رفتار دیوارهای میانقاب بنایی محصور در قابهای فولادی تحت اثر بار جانبی با تغییر در نوع آجر، ضخامت دیوار و تاثیر وجود بازشوها در و پنجره مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که نوع آجر مورد استفاده، ضخامت دیوار و نوع بازشو در سختی، مقاومت، شکل پذیری، حرکت خارج از صفحه و الگوی ترک

خوردگی دیوار موثر است. دیوار میانقاب باعث کاهش شکل پذیری و افزایش مقاومت نهایی سازه می‌گردد. البته کاهش شکل پذیری سازه به مراتب بیش از افزایش مقاومت در آن بوده و از این نظر، دیوار میانقاب اثری نامطلوب بر رفتار سازه دارد.

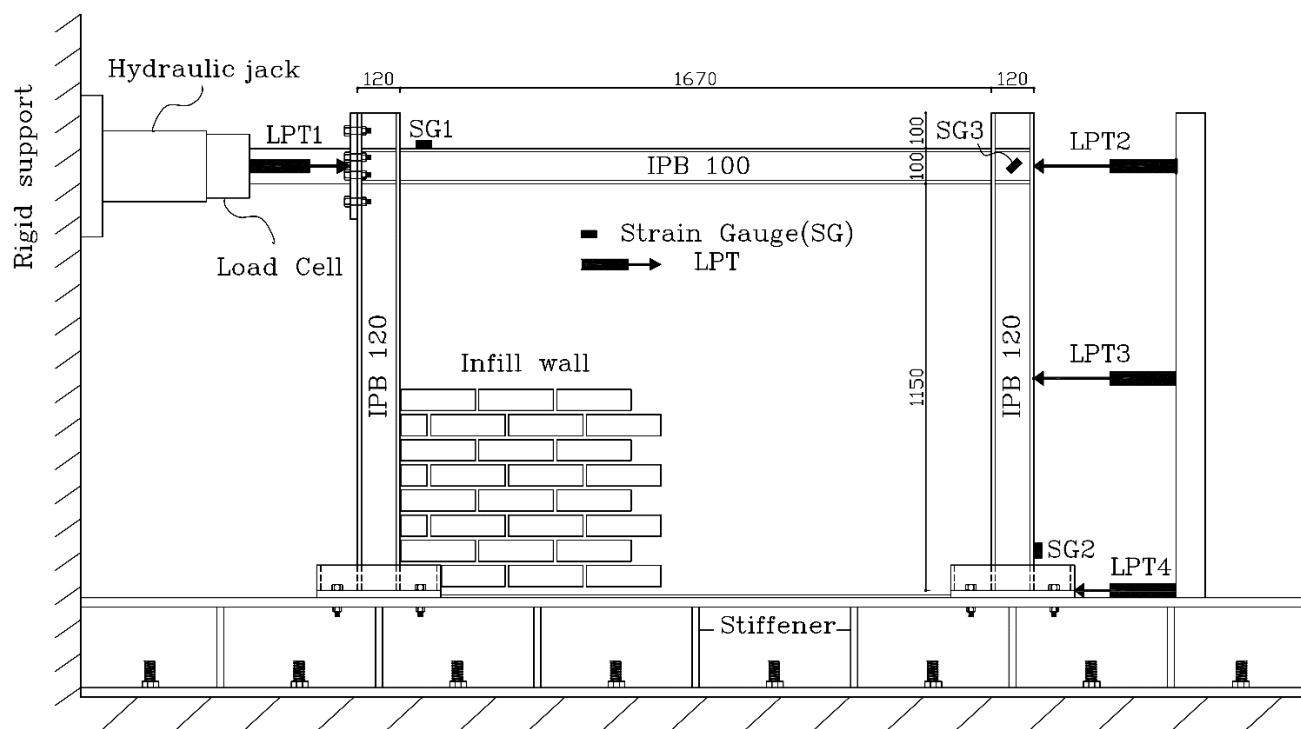
۲- مقایسه با سایر تحقیقات صورت گرفته

تفاوت عمده این مطالعه با سایر تحقیقات صورت گرفته، در انتخاب نوع مصالح و آجر مصرفی معمول در ایران و همچنین ضخامت دیوار، ابعاد بازشو و نحوه اجرای دیوارهای میانقاب در ایران است. در نمونه های مورد مطالعه از انواع آجرهای معمول مورد استفاده در ایران استفاده شده است. همچنین چیدمان آجر، ضخامت دیوار، ابعاد و محل قرار گیری بازشوها نیز به نحوی انتخاب گردیده تا بیانگر حالات معمول مورد استفاده در کشور باشد. جابجایی قاب تا حد دریافت بالایی انجام شده است تا بتوان الگوی ترک خوردگی، شکست و فروریزش دیوار میانقاب را در نمونه های مختلف مورد مقایسه قرار داد. در طی فرآیند آزمایش اثرات موضعی انواع میانقاب ها و تغییرات کرنش بر قسمتهای مهم قاب فولادی اعم از تیر، ستون و چشمه اتصال مورد ارزیابی قرار گرفته است. پارامترهای مهمی چون سختی، مقاومت، شکل پذیری و قابلیت اتلاف انرژی قاب فولادی با حضور انواع میانقابها مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه شاخص نسبت MED/TED جهت بررسی و مقایسه میزان اتلاف انرژی نمونه ها در نظر گرفته شده است. در این شاخص مقدار اتلاف انرژی تا لحظه ماکزیمم مقدار بار گردیده است. هرچه شکل پذیری قاب بیشتر و شاخص اتلاف انرژی به عدد ۱ نزدیک تر باشد، بیانگر قابلیت بیشتر قاب در جذب و اتلاف انرژی خواهد بود.

۳- تنظیمات آزمایش

جزئیات اجرای آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. آزمایش در آزمایشگاه سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه انجام گردید. تمام نمونه ها برای انجام آزمایش بر روی شاسی بسیار قوی کف آزمایشگاه قرار گرفتند که توسط تعداد زیادی بولت، کاملاً به فونداسیون زیر خود متصل و مهار گردیده است. بار جانبی توسط یک جک هیدرولیکی با ظرفیت فشاری ۱۵۰۰ کیلو نیوتن در یک طرف قاب و در تراز تیر فوقانی قاب اعمال گردید. در تمامی نمونه ها، حرکت خارج از صفحه قاب در حین اجرای آزمایش توسط چهار خرپا مهار گردید که در طرفین قاب و در محدوده یک سوم تیر از هر طرف نصب شدند. به دلیل انجام تحلیل پوش آور، بارگذاری به صورت شبه استاتیکی و یکنواخت و به روش کنترل جابجایی انجام شد. همچنین به منظور بررسی نحوه شکست میانقاب و نیز رفتار قاب در محدوده پلاستیک و پس از تسلیم، به هریک از نمونه ها تا حد دریافت ۱۶٫۶۷٪ جابجایی یکنواخت اعمال گردید. برای اندازه گیری جابجایی جانبی در نمونه ها از ۴ دستگاه LPT (Linear Potentiometer Transducer) استفاده شد که موقعیت نصب هر کدام از آنها در شکل ۱ نشان داده شده است. این LPT ها در دو گوشه فوقانی قاب، قسمت میانی ارتفاع ستون و پای ستون سمت راست (به منظور کنترل عدم لغزش احتمالی قاب) نصب گردیدند. سه عدد کرنش سنج (YEFLA-5) نیز در بال فوقانی تیر، بال تحتانی ستون و چشمه اتصال نصب شدند.

یک سیستم دریافت داده به صورت مداوم و خودکار جهت ثبت بار، جابجایی و کرنش مورد استفاده قرار گرفت. قبل از هر آزمایش، نمونه به صورت دقیق در محل آزمایش قرار گرفت و پس از اجرای دیوار میانقاب، با استفاده از چهار عدد خرپا، در جهت خارج از صفحه کاملاً مهار گردید. سپس LPT ها و کرنش سنج ها در محل تعیین شده نصب شدند. جابجایی جانبی توسط جک بصورت شبه استاتیکی تا لحظه شکست به نمونه ها اعمال گردید. پارامترهای اندازه گیری شده در حین آزمایش شامل نیرو، تغییر مکان و کرنش در نقاط مختلف قاب می باشند. برای هریک از نمونه ها، پس از رسم نمودار نیرو-جابجایی قاب، نمودار دو خطی معادل با استفاده از دستورالعمل FEMA356 [2] رسم گردید و مقادیر سختی، مقاومت، شکل پذیری و سایر پارامترهای لرزه ای محاسبه شد.



شکل ۱: تنظیمات آزمایش.

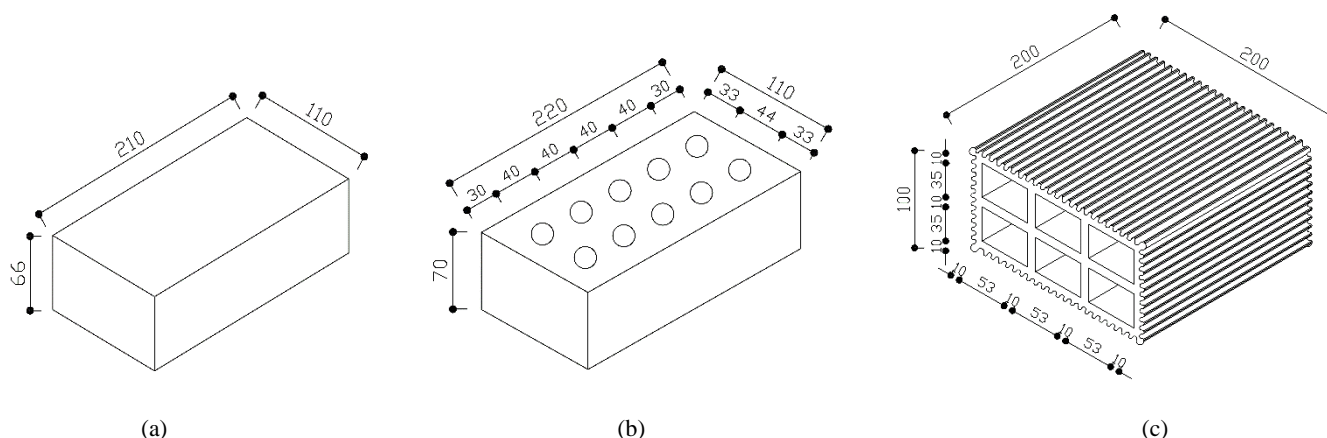
۴- نمونه های آزمایش و مشخصات مصالح

هفت قاب فولادی یک طبقه و یک دهانه با مقیاس ۱:۳ و با پارامترهای متغیر مطابق جدول ۱ ساخته شدند. این مقیاس با توجه به مطالعات گذشته و امکانات موجود آزمایشگاه انتخاب شده است. مقیاس انتخابی می تواند تا حد قابل قبولی بیانگر رفتار قاب و میانقاب در اندازه واقعی باشد. در همه نمونه ها قاب دارای طول دهانه ۱۷۹۰ میلی متر و ارتفاع ۱۲۰۰ میلی متر است. در اجرای دیوارهای میانقاب از سه نوع مختلف آجر رسی توپر (بدون سوراخ)، آجر سوراخدار و آجر سفالی سبک متداول در ایران استفاده شد. ستونهای قاب از مقطع IPB 120 و تیر قاب از مقطع IPB 100 ساخته شدند. اتصال تیر به ستون به صورت صلب و با استفاده از جوش نفوذی کامل انجام شد. قاب دارای ۲ عدد صفحه ستون به ابعاد $20 \times 250 \times 350$ میلی متر جهت اتصال به تکیه گاه تحتانی می باشد. اتصال ستونها به تکیه گاه به صورت صلب اجرا شد و برای این منظور از ورق های سخت کننده به ارتفاع ۱۰۰ میلی متر و ضخامت ۱۰ میلی متر در تمام طول و عرض کف ستون و نیز جهت اتصال جان و بال ستون به کف ستون استفاده شد. در قسمت زیر دیوار و حد فاصل بین ورقهای کف ستون، ورقی به ابعاد $8 \times 250 \times 1140$ میلی متر قرارداده شده و از دو طرف کاملاً به ورق های صفحه ستون متصل گردید.

جدول ۱: مشخصات نمونه های آزمایش

شماره نمونه	نام نمونه	نوع آجر	ابعاد آجر (mm)	ضخامت دیوار (mm)	نوع بازشو
۱	BF	---	---	---	---
۲	SW1	آجر رسی توپر	۶۶ * ۱۱۰ * ۲۱۰	۱۱۰	---
۳	SW2	آجر رسی سوراخدار	۷۰ * ۱۱۰ * ۲۲۰	۱۱۰	---
۴	SW3	آجر سفالی سبک	۱۰۰ * ۲۰۰ * ۲۰۰	۲۰۰	---
۵	SW4	آجر رسی توپر	۶۶ * ۱۱۰ * ۲۱۰	۲۱۰	---
۶	PW	آجر رسی توپر	۶۶ * ۱۱۰ * ۲۱۰	۱۱۰	پنجره
۷	PD	آجر رسی توپر	۶۶ * ۱۱۰ * ۲۱۰	۱۱۰	در

نمونه BF قاب فولادی بدون دیوار میانقاب است که نتایج نمونه های دارای میانقاب با آن مقایسه خواهد شد. در نمونه های SW1 ، SW2 و SW3 سه نوع مختلف از آجرهای متداول در کشور ایران در نظر گرفته شده است. این آجرها دارای اشکال و ابعاد مختلفی هستند که در شکل ۲ نشان داده شده است. در نمونه SW4 از آجری همانند نمونه SW1 استفاده گردید با این تفاوت که چیدمان آجر و ضخامت دیوار در این نمونه متفاوت می باشد. نمونه های PW و PD نیز دارای نوع آجر و چیدمانی مانند نمونه SW1 هستند که در قسمت میانی آنها بترتیب بازشوی در و پنجره منظور گردیده است. جهت اجرای نعل درگاه نمونه های دارای بازشو از ۲ عدد نبشی ۳*۳۰*۳۰ میلی متر استفاده شد که از هر طرف بازشو به مقدار ۳۰۰ میلیمتر ادامه یافتند.



شکل ۲: اشکال و ابعاد آجرهای مورد استفاده در انجام آزمایش (a) آجر رسی توپر نمونه SW1 و SW4 (b) آجر رسی سوراخدار نمونه SW2 (c) آجر سفال سبک نمونه SW3.

ملات مورد استفاده در دیوار چینی نمونه ها با نسبت حجمی ۱:۴ (یک حجم سیمان و چهار حجم ماسه) ساخته شد. سیمان مورد استفاده پرتلند نوع ۲ می باشد. در اجرای دیوار های میانقاب نمونه های آزمایشگاهی، تمامی دیدگاه های فنی به دقت اجرا و تلاش شد تا نمونه ها با بالاترین کیفیت ساخته شوند. همه آجرها به صورت کامل زنجاب و درز های افقی و قائم بین آجرها با استفاده از ملات به صورت کامل پر شدند. آبدهی و عمل آوری کلیه نمونه ها در شرایط و دمای مناسب و استاندارد تا حصول مقاومت لازم برای اجرای آزمایش انجام شد. در هنگام ساخت نمونه ها کنترل کیفیت مصالح فولادی قاب و مصالح بنایی دیوار با استفاده از دستورالعمل استانداردهای معتبر انجام شد [۲۷-۳۰]. در جدول شماره ۲ مشخصات مصالح نمونه ها و دستورالعمل های استاندارد تعیین این مشخصات ارائه شده است.

جدول ۲: مشخصات مصالح

نام مصالح	مقاومت فشاری (Mpa)	مقاومت کششی (Mpa)	مدول الاستیسیته (Gpa)	مقاومت تسلیم (Mpa)	مقاومت نهایی (Mpa)	دستورالعمل آزمایشات مصالح
آجر	24.7	2.47	13.58	---	---	ASTM C-67 [27]
ملات	11	1.1	6.05	---	---	ASTM C-109 [28]
دیوار بنایی	11.6	1.16	6.38	---	---	ASTM C-1314 [29]
قاب فولادی	---	---	202	588	---	IPB 120
	---	---	191	624	---	IPB 100
	---	---	198	467	---	UPA 120

۵- نتایج آزمایش

در شکل ۳ نمونه های آزمایش قبل از بارگذاری نشان داده شده اند. به منظور بررسی قابلیت جذب انرژی و شکل پذیری قابها، مقدار اتلاف انرژی تا لحظه ماکزیمم مقدار بار MED (Maximum Energy Dissipation) محاسبه و با مقدار اتلاف انرژی تا دریافت نهایی TED (Total Energy Dissipation) مقایسه گردید. نسبت MED/TED شاخصی مناسب جهت بررسی و مقایسه میزان اتلاف انرژی نمونه ها می باشد. هرچه شکل پذیری قاب بیشتر و شاخص اتلاف انرژی به عدد ۱ نزدیک تر باشد، بیانگر قابلیت بیشتر قاب در جذب و اتلاف انرژی خواهد بود. همچنین برای هر یک از نمونه ها، پس از رسم نمودار نیرو-جابجایی قاب، نمودار دو خطی معادل با استفاده از دستورالعمل [2] FEMA 356 رسم گردید و مقادیر سختی موثر، مقاومت و شکل پذیری محاسبه شدند. به علت عملکرد ترد مصالح بنایی، ترسیم نمودار دوخطی معادل تا نقطه اوج نمودار نیرو-جابجایی قاب انجام شد و از بخش کاهنده آن صرف نظر گردید.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



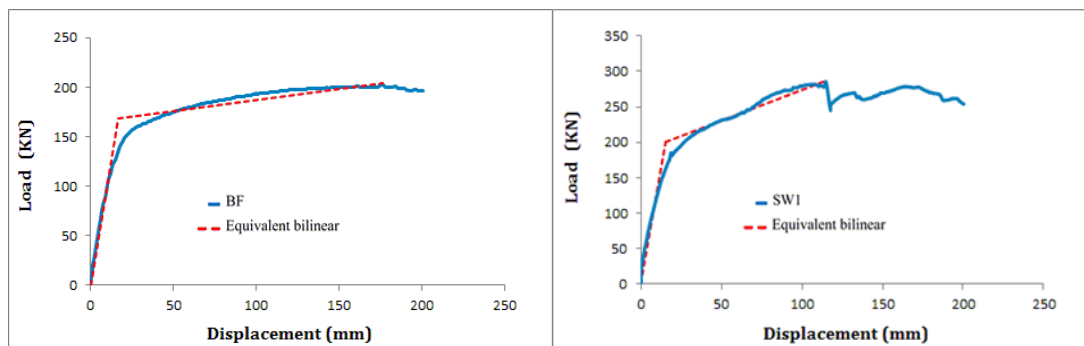
(f)



(g)

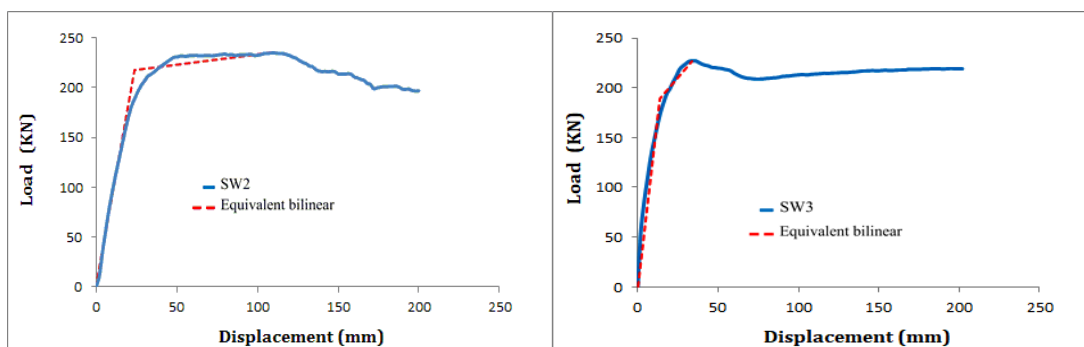
شکل ۳: نمونه های آزمایش قبل از بارگذاری (a) BF (b) SW1 (c) SW2 (d) SW3 (e) SW4 (f) PW (g) PD

شکل ۴ نمودار نیرو-جابجایی نمونه ها، به همراه نمودار دوخطی معادل آنها را نشان می دهد.



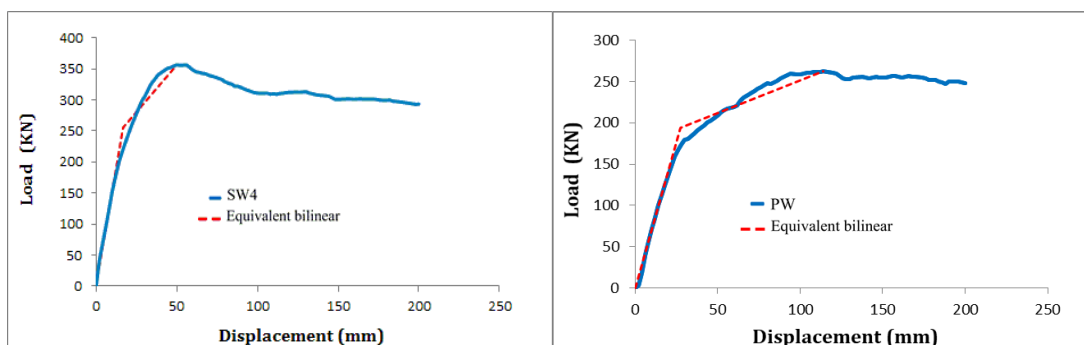
(a)

(b)



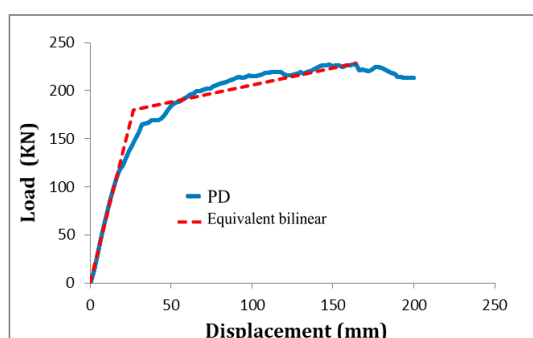
(c)

(d)



(e)

(f)



(g)

شکل ۴: نمودار نیرو - جابجایی نمونه های (a) BF (b) SW1 (c) SW2 (d) SW3 (e) SW4 (f) PW (g) PD

۵-۱- بررسی رفتار قاب در حالت بدون دیوار میانقاب

قاب دارای سختی موثر 10 KN/mm می باشد. مطابق نمودار نیرو-جابجایی، شروع تسلیم نمونه در جابجایی 16.8 میلی متر اتفاق می افتد. در این مقدار جابجایی مقاومت قاب 168.04 کیلونیوتن است. با شروع تسلیم نمونه، تشکیل و توسعه مفصل پلاستیک در دو انتهای تیر، به همراه پوسته شدن رنگ در این قسمتها مشاهده گردید. بارگذاری نمونه با اعوجاج و کمانش تیر و ستون متوقف شد. ماکزیمم مقدار بار 203.7 کیلونیوتن و مربوط به دریفت 14.7% بود. شکل ۵ وضعیت این نمونه را در مراحل مختلف بارگذاری نشان می دهد. شاخص اتلاف انرژی در این قاب 0.87 و شکل پذیری 10.5 می باشد که نسبت به بقیه نمونه ها به مراتب بیشتر است. بنابراین میتوان نتیجه گرفت وجود میانقاب در نمونه های بعدی، باعث اثری نامطلوب بر عملکرد قاب شده است.



(a)



(b)



(c)



(d)

شکل ۵: نمونه BF در مراحل مختلف بارگذاری (a) دریفت 1% (b) دریفت 5% (c) دریفت 10% (d) دریفت 15%

۵-۲- بررسی تاثیر نوع آجر دیوار میانقاب بر رفتار قاب

نمونه SW1 یک قاب دارای دیوار میانقاب اجرا شده با آجر رسی بدون سوراخ (مطابق شکل ۲a) است. با شروع اعمال بار و در جابجایی 10 میلی متر، در امتداد قطر فشاری دیوار و در مسیر درزهای افقی و قائم ملات، ترک مشاهده گردید و با افزایش جابجایی، عرض ترک توسعه یافت (شکل ۶a). با افزایش جابجایی و به دلیل اندرکنش قاب و میانقاب، قسمت میانی و نیمه سمت راست دیوار به سمت بالا حرکت نمود و با اعمال فشار به تیر، موجب حرکت آن به سمت بالا شد (شکل ۶b). در جابجایی 40 میلی متر یک ترک قائم در قسمت سمت راست و از زیر تیر تا امتداد ترک قطری پانل در دیوار تشکیل گردید. در نیمه سمت چپ دیوار و امتداد قطر فشاری، انتهای آجرها به سمت پایین متمایل شده و در نیمه سمت راست انتهای آجرها به سمت بالا حرکت نمودند که این موضوع باعث ایجاد یک موج قائم در رج های دیوار گردید (شکل ۶c).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

شکل ۶: نمونه SW1 در مراحل مختلف بارگذاری (a) دریفت ۱٪، (b) دریفت ۵٪، (c) دریفت ۱۰٪، (d) دریفت ۱۵٪، (e) تخریب گوشه دیوار

نمودار بار-جابجایی قاب SW1 نشان می دهد قاب دارای سختی موثر $12,82 \text{ KN/mm}$ می باشد. شروع تسلیم نمونه در جابجایی $15,6$ میلی متر اتفاق می افتد. در این مقدار جابجایی مقاومت قاب در حد تسلیم $200,2$ کیلونیوتن است. ماکزیمم مقدار بار در این قاب 286 کیلونیوتن می باشد که مربوط به دریفت $9,56\%$ است. در این مقدار جابجایی، خرد شدن آجر در گوشه قاب و افزایش ترک خوردگی های قائم و قطری مشاهده شد که سبب افت مقاومت در نمودار بار جابجایی نیز گردید. همچنین از این مرحله به بعد، انحراف خارج از صفحه در میانقاب مشاهده شد و آجرهای گوشه بالای سمت چپ پوسته شده و خرد شدند (شکل 6d). در جابجایی 200 میلی متر گوشه میانقاب به دلیل خرد شدگی شدید ریزش نمود و آزمایش متوقف گردید (شکل 6e). وضعیت نمونه SW1 در مراحل مختلف بارگذاری در شکل ۶ ملاحظه می گردد. ضریب شکل پذیری این قاب $7,35$ و شاخص اتلاف انرژی برای این قاب عدد $0,53$ می باشد که در مقایسه با قاب بدون میانقاب، شکل پذیری و اتلاف انرژی به مراتب کمتری است.

مقایسه نمونه های BF و SW1 نشان می دهد افزودن دیوار میانقاب با آجر توپر رسی، موجب افزایش سختی موثر قاب به میزان ۲۸٫۲٪ گردید. در این حالت جابجایی متناظر حد تسلیم به میزان ۷٪ کاهش یافته و مقاومت حد تسلیم و بار نهایی به ترتیب ۱۹٪ و ۴۰٪ افزایش یافتند. حضور دیوار میانقاب با آجر توپر رسی موجب شد شکل پذیری قاب ۳۰٪ و شاخص اتلاف انرژی قاب به مقدار ۴۰٪ کاهش یابد.

در نمونه SW2 از آجرهای رسی سوراخدار (با تعداد ۱۰ سوراخ قائم به قطر ۲۰ میلی متر مطابق شکل 2b) استفاده گردید. این سوراخ ها موجب کاهش وزن آجر می گردند و به دلیل نفوذ ملات در آنها، موجب افزایش چسبندگی بین آجر و ملات می شوند. با شروع اعمال بار در این نمونه، ابتدا جابجایی هایی در امتداد رج های افقی آجر و نیز ایجاد موج قائم در رج های دیوار اتفاق افتاد. در جابجایی ۱۸ میلی متر، اولین ترک در آجرهای میانی و در ناحیه قطر فشاری دیوار به صورت قائم ایجاد شد (شکل 7a).

به مرور و با ادامه بارگذاری، ضمن توسعه این ترک، پوسته شدن آجرها در نواحی میانی دیوار و قسمتهای فوقانی امتداد قطر فشاری و کششی دیوار به وقوع پیوست (شکل 7b). در دریافت ۷٫۱٪ نخستین آجر در قسمت فوقانی قطر فشاری تخریب گردید به نحوی که نصف طول آجر در امتداد سوراخ های آجرشکسته و از دیوار جدا شد (شکل 7c). در ادامه بارگذاری نیز توسعه تخریب آجرها به همین شکل انجام گردید. بیشترین آسیب دیوار در رج انتهایی دیوار و ناحیه در تماس با تیر اتفاق افتاد. آزمایش با تغییر شکل های بیش از حد قاب و تخریب نواحی فوقانی دیوار متوقف گردید (شکل 7d). در قاب فلزی نیز کمانش موضعی در بال ستون در محل اتصال به کف ستون و نیز در بال تیر در محل اتصال به ستون و در نزدیکی قطر فشاری دیوار ایجاد گردید (شکل 7e).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

شکل ۷: نمونه SW2 در مراحل مختلف بارگذاری (a) دریفت ۱٪ (b) دریفت ۵٪ (c) دریفت ۱۰٪ (d) دریفت ۱۵٪ (e) کمانش بال ستون

نتایج نشان داد استفاده از آجر رسی سواخدار در مقایسه با آجر رسی بدون سوراخ موجب می شود ایجاد اولین ترک با تاخیر قابل توجه و درجایابی بیشتری اتفاق بیفتد، ضمن اینکه تخریب دیوار با پوسته شدن آجر در سطوح وسیعی از دیوار و جدا شدگی قطعات کوچک آجر رخ داد. این موضوع از نقطه نظر عدم تخریب ناگهانی و کلی دیوار در هنگام وقوع زلزله می تواند مهم باشد.

نمودار بار-جابجایی قاب SW2 نشان می دهد قاب دارای سختی موثر $9,09 \frac{KN}{mm}$ می باشد. شروع تسلیم نمونه در جابجایی ۲۴ میلی متر اتفاق می افتد. در این مقدار جابجایی، مقاومت قاب در حد تسلیم ۲۱۸,۰۸ کیلونیوتن است. ماکزیمم مقدار بار در این قاب ۲۳۵,۲۴ کیلونیوتن می باشد که مربوط به دریفت ۹,۱۷٪ است. ضریب شکل پذیری این قاب ۴,۵۹ و شاخص اتلاف انرژی برای این قاب عدد ۰,۵۲ می باشد که در مقایسه با میانقاب با آجر بدون سوراخ، شکل پذیری و اتلاف انرژی کمتری دارد.

مقایسه نمونه های SW1 و SW2 نشان می دهد دیوار میانقاب با آجر رسی سواخدار، در مقایسه با آجر رسی توپر، دارای ۲۹٪ سختی کمتر و ۹٪ مقاومت حد تسلیم بیشتر است. همچنین میانقاب با آجر رسی سواخدار دارای ۱۸٪ مقاومت نهایی کمتر نسبت به میانقاب با آجر بدون سوراخ است. مقایسه شکل پذیری این دو قاب نشان می دهد میانقاب با آجر سواخدار، دارای شکل پذیری و قابلیت اتلاف انرژی به ترتیب ۳۸٪ و ۲,۸۳٪ کمتر نسبت به میانقاب با آجر توپر می باشد.

در نمونه SW3 که با آجرهای سفالی سبک (آجر های دارای سوراخهای افقی مطابق شکل 2c) ساخته شده است، قبل از ایجاد هرگونه شکست در دیوار، آجر رج های میانی دیوار روی سطح ملات لغزیده و آجرها در تماس کامل با یکدیگر قرار گرفتند (شکل 8a). با افزایش جابجایی بیشتر، شکست در دیوار با ایجاد ترک های پراکنده در آجرها و پوسته شدن تعدادی از آجرهای میانی اتفاق افتاد و بخشی از آجرهای میانی جدا شدند (شکل 8b). اولین ترک در آجرهای میانی دیوار در جابجایی ۱۴ میلی متر ایجاد شد. از جابجایی ۱۸ میلیمتر به بعد جداشدگی و پوسته شدن آجرها مشاهده گردید. بیشترین مقدار تخریب ابتدا در نواحی بالای قطر فشاری دیوار اتفاق افتاد و به مرور در نواحی پایین قطر فشاری توسعه یافت (شکل 8c). در قاب فولادی نیز ضمن مشاهده ایجاد کمانش هایی در بال قسمت تحتانی ستون و نیز بال تیر در قسمت اتصال به ستون، ترک و شکست هایی در اتصالات و سخت کننده های پای ستون اتفاق افتاد. آزمایش با تخریب گسترده دیوار متوقف گردید (شکل 8d). در این نمونه نیز همانند نمونه SW2، تخریب دیوار با پوسته شدن آجر در سطوح وسیعی از دیوار و جدا شدگی قطعات کوچک آجر می باشد و تخریب ناگهانی و یکپارچه در دیوار رخ نداد.



شکل ۸: نمونه SW3 در مراحل مختلف بارگذاری (a) دررفت ۱٪ (b) دررفت ۵٪ (c) دررفت ۱۰٪ (d) دررفت ۱۵٪ (e) کمانش بال ستون

نمودار بار-جابجایی قاب SW3 نشان می دهد قاب دارای سختی موثر $9,86 \frac{KN}{mm}$ می باشد که اندکی بیش از نمونه SW2 است. شروع تسلیم نمونه در جابجایی ۱۳,۴۲ میلی متر اتفاق می افتد. در این مقدار جابجایی مقاومت قاب در حد تسلیم ۱۸۸,۷۱ کیلونیوتن است، که به مقدار قابل توجهی کمتر از نمونه SW2 است. این موضوع ناشی از ترد بودن آجرها در نمونه SW3 و ضخامت کم جداره سوراخ های آجر است. ماکزیمم مقدار بار در این قاب ۲۲۷,۱۱ کیلونیوتن می باشد که مربوط به جابجایی دررفت ۲,۸۳٪ است. ضریب شکل پذیری این قاب ۲,۵۳ و شاخص اتلاف انرژی برای این قاب عدد ۰,۲۹ می باشد که نشان دهنده شکل پذیری و قابلیت اتلاف انرژی کم این نمونه می باشد.

مقایسه نمونه های SW1 و SW3 نشان می دهد دیوار میانقاب با آجر سفالی سبک دارای سختی و مقاومت حد تسلیم به ترتیب ۲۳٪ و ۵,۷٪ کمتر از میانقاب با آجر رسی توپر است. همچنین میانقاب با آجر سفالی سبک دارای ۲۰,۶٪ مقاومت نهایی کمتر نسبت به میانقاب با آجر رسی توپر است. مقایسه شکل پذیری این قابها نشان می دهد میانقاب با آجر سفالی سبک، دارای شکل پذیری و قابلیت اتلاف انرژی به ترتیب ۶۵,۶٪ و ۵۹,۹٪ کمتر نسبت به میانقاب با آجر توپر می باشد.

باید دقت نمود که سختی موثر پارامتری است که نه تنها به سختی اولیه نمونه، بلکه به مقاومت نهایی و کیفیت کلی نمودار نیرو-جابجایی وابسته است. زیرا از نمودار دوخطی معادل که روی نمودار نیرو-جابجایی برازش داده می‌شود، بدست می‌آید. به همین دلیل است که سختی موثر برخی از نمونه‌های دارای میانقاب مانند SW1 از نمونه BF کمتر شده است.

۳-۵- بررسی تاثیر ضخامت دیوار میانقاب بر رفتار قاب

به منظور بررسی تاثیر ضخامت دیوار میانقاب بر رفتار قاب، تغییراتی در نمونه SW1 ایجاد گردید. نمونه SW4 با استفاده از آجر مشابه نمونه SW1 ساخته شد با این تفاوت که چیدمان دیوار میانقاب به صورتی انجام گردید که ضخامت دیوار ۲۱۰ mm باشد (شکل 3e).

با اعمال جابجایی به قاب، به دلیل بالا آمدن دیوار و ایجاد تغییر شکل در تیر، رج‌های افقی به شکل موجدار در امتداد قائم تغییر شکل دادند (شکل 9a). در جابجایی ۴۶ میلیمتر اولین ترک در قسمت فوقانی قطر فشاری دیوار ظاهر گردید (شکل 9b). با اعمال جابجایی بیشتر، ضمن افزایش بالا آمدگی دیوار و تغییر موجی شکل در امتداد رج‌های افقی، ترک در قسمت فوقانی قطر فشاری توسعه یافته و منجر به تخریب این ناحیه از دیوار گردید (شکل 9c). در این نمونه به دلیل سختی زیاد دیوار، میزان آسیب در قاب فلزی و کمانش‌های موضعی در بالهای تیر و ستون قابل ملاحظه می‌باشد (شکل 9d).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

شکل ۹: نمونه SW4 در مراحل مختلف بارگذاری (a) دررفت ۱٪ (b) دررفت ۵٪ (c) دررفت ۱۰٪ (d) دررفت ۱۵٪ (e) کمناش تیر

مطابق نمودار نیرو - جابجایی، نمونه SW4 دارای سختی موثر $\frac{KN}{mm}$ ۱۵,۳۲ می باشد. شروع تسلیم نمونه در جابجایی ۱۶,۶۵ میلی متر اتفاق افتاد. در این مقدار جابجایی، مقاومت قاب در حد تسلیم ۲۵۵,۱۶ کیلونیوتن است. ماکزیمم مقدار بار در این قاب ۳۵۶,۶۶ کیلونیوتن می باشد که مربوط به دررفت ۴,۱۶٪ است. ضریب شکل پذیری این قاب ۳ و شاخص اتلاف انرژی برای این قاب عدد ۰,۲۱ می باشد (جدول ۳).

مقایسه نتایج آزمایش نمونه های SW1 و SW4 نشان می دهد افزایش ضخامت دیوار از ۱۱۰ میلی متر به ۲۱۰ میلی متر موجب می گردد سختی موثر قاب به میزان ۱۹,۵٪ افزایش یابد. در این حالت، جابجایی متناظر حد تسلیم ۶,۶٪، مقاومت حد تسلیم ۲۷,۵٪ و بار نهایی به میزان ۲۴,۷٪ افزایش یافته است. افزایش ضخامت دیوار به مقدار حدود ۲ برابر همچنین موجب می گردد شکل پذیری قاب به مقدار ۵۹,۲٪ کاهش داشته باشد.

بررسی فوق نشان می دهد اثر تغییرات ضخامت دیوار میانقاب در رفتار سازه قابل توجه است. البته در رفتار لرزه ای سازه دارای دیوار میانقاب پارامترهای متعددی مانند مشخصات آجر، جنس و کیفیت ملات، نوع چینش آجرها و ضخامت دیوار، نوع اتصال دیوار به قاب، توزیع دیوار در پلان و ... موثرند. بنابراین اظهار نظر کمی در این مورد دشوار و منوط به انجام تحقیقات بیشتری است.

۴-۵ - بررسی تاثیر بازشو بر رفتار قاب

نمونه های PW و PD دارای مصالح، مشخصات و ابعادی همانند نمونه SW1 هستند. با این تفاوت که در این نمونه ها، بازشوهایی پنجره و در، با ابعاد متعارف در ساختمان های مسکونی و با مقیاسی همانند مقیاس قاب در نظر گرفته شده است (شکل های 3f و 3g).

در قاب PW با اعمال جابجایی، ابتدا رج های فوقانی نعل درگاه در راستای افقی لغزیده و همگام با تغییر شکل افقی قاب جابجا شدند (شکل 10a). با افزایش جابجایی قاب، اولین ترک در جابجایی ۳۴ میلیمتر و در امتداد قطر فشاری دیوار، از گوشه سمت چپ پایین پنجره تشکیل شد (شکل 10b). با زیاد شدن جابجایی، ترک به سمت گوشه بالای قاب توسعه یافته و موجب پوسته شدن آجر و تخریب این قسمت گردید (شکل 10c). از طرفی در سمت راست پنجره، ترکی مورب تشکیل شد (شکل 10d). با افزایش جابجایی، این ترک ها توسعه یافته و موجب تخریب قابل توجه دیوار شدند. آزمایش با تخریب بیش از حد دیوار متوقف گردید (شکل 10e).



شکل ۱۰: نمونه PW در مراحل مختلف بارگذاری (a) دریفت ۱٪ (b) دریفت ۵٪ (c) دریفت ۱۰٪ (d) دریفت ۱۵٪ (e) کماتش ستون.

نمودار نیرو - جابجایی نمونه PW نشان می دهد قاب دارای سختی موثر $7,04 \frac{KN}{mm}$ می باشد. شروع تسلیم نمونه در جابجایی ۲۷,۵ میلی متر اتفاق می افتد. در این مقدار جابجایی، مقاومت قاب در حد تسلیم ۱۹۳,۵۶ کیلونیوتن است. ماکزیمم مقدار بار در این قاب ۲۶۲,۹ کیلونیوتن می باشد که مربوط به دریفت ۹,۴۹٪ است. ضریب شکل پذیری این قاب ۴,۱۴ و شاخص اتلاف انرژی برای این قاب عدد ۰,۵۲ می باشد (جدول ۳).

الگوی تشکیل و توسعه ترک در این نمونه نشان داد که وجود بازشو در قسمت میانی دیوار موجب می گردد راستای انتقال نیرو در قطر فشاری تغییر یافته و به دو بخش تقسیم گردد. راستای قطر فشاری از گوشه های قاب شروع شده و در قسمت میانی دیوار، به اندازه قطر بازشو از یکدیگر فاصله دارند. بنابراین به نظر می رسد وجود المانهای قائم در دو طرف بازشو می تواند تا حد زیادی به جلوگیری از تخریب دیوار کمک کند.

مقایسه نتایج آزمایش نمونه های SW1 و PW نشان می دهد، حضور بازشوی پنجره در قسمت میانی دیوار موجب می گردد سختی موثر قاب به میزان ۴۵٪ کاهش یابد. در این حالت، جابجایی متناظر حدتسلیم ۷۶٪ افزایش و مقاومت حد تسلیم ۳،۳٪ و بار نهایی به میزان ۸٪ کاهش یافته است. حضور بازشوی پنجره موجب گردید شکل پذیری قاب به مقدار ۴۴٪ کاهش داشته باشد.

در نمونه PD اولین ترک در جابجایی ۳۶ میلی‌متر و در گوشه پایین بازو ظاهر گردید (شکل 11a). در ادامه بارگذاری، در گوشه بالای بازو نیز یک ترک تشکیل شد (شکل 11b). با اعمال جابجایی بیشتر در قاب، این ترک ها در میانقاب توسعه یافته و منجر به تخریب میانقاب شدند. آزمایش با تخریب بیش از حد دیوار متوقف گردید (شکل 11c).



(a)



(b)



(c)

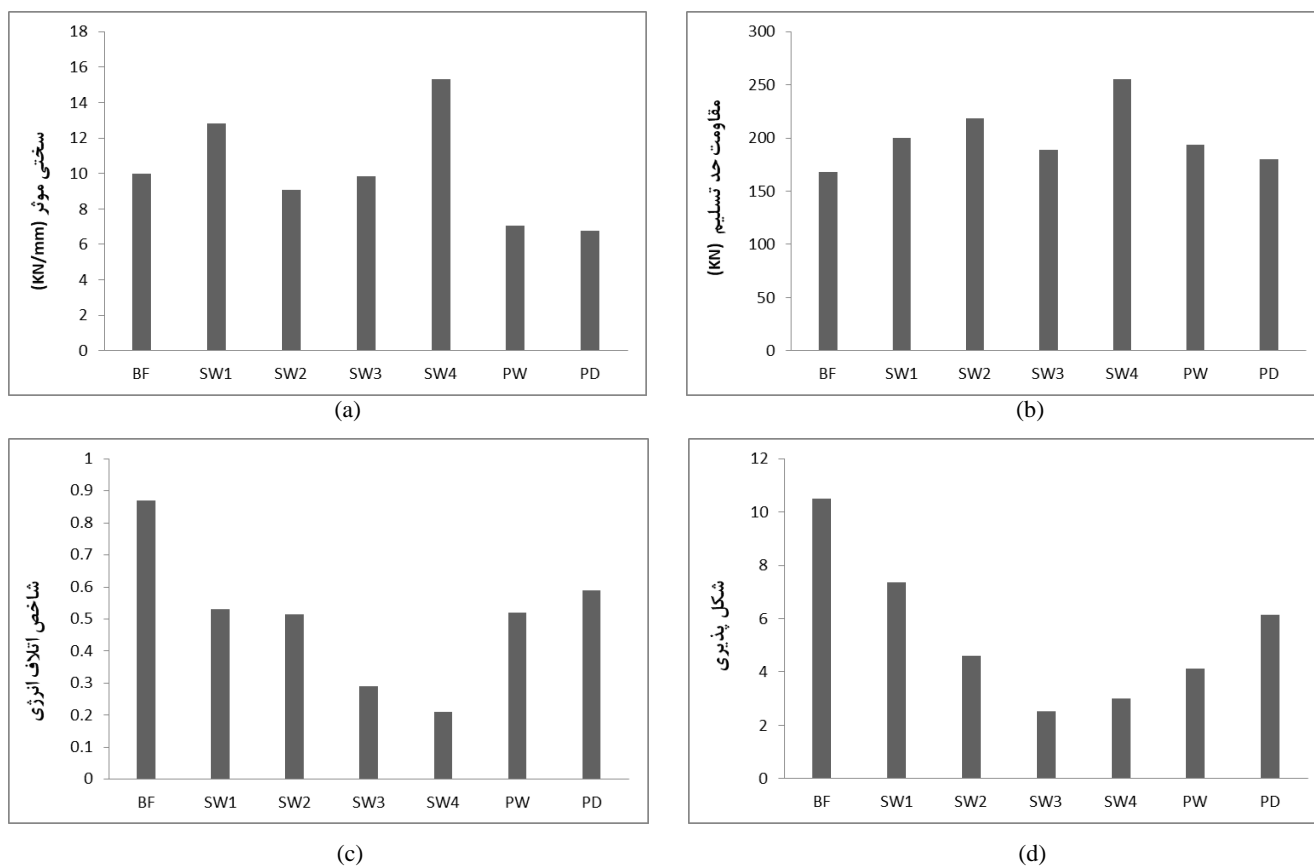
شکل ۱۱: نمونه PW در مراحل مختلف بارگذاری.

الگوی تشکیل و توسعه ترک در نمونه PD نشان می دهد که حضور بازشو در این نمونه نیز موجب جابجایی مسیر انتقال بار در قطر فشاری میانقاب می گردد. نمونه PD دارای ۴٪ سختی موثر کمتر از نمونه PW است. مقایسه دو نمونه دارای بازشو نشان می دهد نمونه PD، ضمن سختی موثر کمتر، دارای مقاومت تسلیم و مقاومت نهایی به ترتیب ۷٪ و ۱۳٪ کمتر نسبت به نمونه PW می باشد اما شکل پذیری و قابلیت اتلاف انرژی نمونه PD به ترتیب ۳٪ و ۱۹،۵٪ بیشتر از نمونه PW می باشد.

جدول ۳: پاسخ نمونه های آزمایش

MED/TED	TED (KJ)	شکل پذیری	جابجایی نسبی متناسب با ماکزیمم مقدار بار (%)	ماکزیمم مقدار بار (KN)	مقاومت حد تسلیم (KN)	جابجایی متناظر با حد تسلیم (mm)	جابجایی متناظر با ایجاد اولین ترک (mm)	سختی موثر (KN/mm)	نمونه
0.87	35.8	۱۰,۵	14.7	203.7	168.04	16.80	---	10	BF
0.53	48.5	۷,۳۵	9.56	286	200.2	15.62	10	12.82	SW1
0.515	42.1	۴,۵۹	9.17	235.24	218.08	24	18	9.09	SW2
0.29	19.45	۲,۵۳	2.83	227.11	188.71	13.42	14	9.86	SW3
0.21	58.87	۳	4.16	356.66	255.16	16.65	46	15.32	SW4
0.52	42.74	۴,۱۴	9.49	262.9	193.56	27.5	34	7.04	PW
0.59	51.10	۶,۱۵	13.66	228.27	180.19	26.65	36	6.76	PD

در جدول ۳ نتایج آزمایش و مشخصات لرزه ای محاسبه شده برای نمونه های مورد مطالعه ارائه شده است. همچنین در شکل ۱۲ نمودارهای مقایسه پاسخ نمونه های آزمایش ارائه شده است.



شکل ۱۲: نمودار ستونی مقایسه پاسخ نمونه های آزمایش.

در پاسخ سازه در برابر زلزله های ضعیف، سختی اولیه و سکانتی سازه تاثیرگذارند. سختی موثر از نمودار دوخطی معادل بدست می آید و کیفیت کلی نمودار دوخطی معادل، در سختی موثر تاثیرگذار است. بنابراین گرچه وجود میانقاب باعث افزایش سختی اولیه سازه میگردد، ممکن است سختی موثر آنرا کاهش دهد. این نکته در شکل 12a به وضوح دیده میشود. شکل 12b و جدول ۳ نشان میدهند که میانقاب در حالت کلی باعث افزایش مقاومت نهایی و مقاومت تسلیم قاب میگردد. اگر در قاب دارای میانقاب بازشویی ایجاد گردد، مقاومت نهایی آن کاهش می یابد. مقایسه شکل های ۶، ۱۰ و ۱۱ تفاوت نوع شکست و ترک خوردگی در این دیوارها را نشان میدهد. بازشو با تغییر الگوی ترک خوردگی و شکست دیوار، بر راستای تشکیل استرات معادل و لاجرم مقاومت نهایی دیوار تاثیر دارد.

اثر میانقاب بر شکل پذیری و اتلاف انرژی قاب کاهنده است (شکل های 12c و 12d). البته در برخی موارد این اثرات کاهنده شدید تر است مانند نمونه های SW3 و SW4. از آنجاییکه استفاده از میانقابه اجتناب ناپذیر است، میتوان نوع و ضخامت میانقاب را طوری انتخاب نمود که کمترین اثر کاهنده را روی شکل پذیری و اتلاف انرژی کلی سیستم داشته باشد. این کار نیازمند اطلاعات بیشتر است، بنابراین بر اساس تحلیل عددی گسترده قابل انجام خواهد بود.

۵-۵- بررسی کرنش در نمونه ها

کرنش ماکزیمم در بال تیر، بال ستون و چشمه اتصال در نمونه های مختلف در طول بارگذاری، در جدول ۴ ارائه شده است. شکل ۱ محل دقیق قرار گیری کرنش سنج ها را نشان می دهد. وجود دیوار میانقاب باعث افزایش کرنش در بال تیر در حدود ۱۲ الی ۴۶ درصد شده است. با افزایش مقاومت آجر یا ضخامت آن، کرنش در بال تیر بیشتر می گردد. وجود بازشو در میانقاب باعث افزایش بیشتر کرنش در بال تیر شده است. وجود میانقاب و بازشو در میانقاب می تواند نوع تغییرشکل تیر را تغییر داده و تغییرشکل های موضعی به آن تحمیل نماید.

بنابراین باید هنگام طراحی اعضای قاب، به اثرات موضعی میانقاب-قاب دقت نمود. با افزایش مقاومت و ضخامت میانقاب، فشار کمتری به چشمه اتصال وارد شده و کرنش آن کاهش می یابد. با توجه به اینکه بسیاری از سازه های فلزی در زلزله از محل اتصالات می-شکنند، وجود میانقاب، با کاهش کرنش در محل اتصال میتواند اثر مثبتی بر رفتار قاب داشته باشد. وجود بازشو در میانقاب می تواند کرنش چشمه اتصال را بیشتر کاهش دهد.

جدول ۴: حداکثر کرنش در نمونه ها

نمونه	بال تیر	بال ستون	چشمه اتصال
BF	0.002753	0.003550	0.009433
SW1	0.003954	0.004660	0.004105
SW2	0.003355	0.004399	0.004097
SW3	0.003079	0.004103	0.005276
SW4	0.004029	0.004866	0.003142
PW	0.005030	0.004390	0.003250
PD	0.004700	0.004390	0.002880

شاید ایجاد ارتباطی دقیق بین اثرات نوع یا ضخامت آجر بر پارامترهای لرزه ای سازه کار دشواری باشد. آنچه با اطمینان میتوان گفت این است که وجود میانقاب باعث کاهش قابل توجه شکل پذیری در سازه می گردد. البته میانقاب، سختی اولیه سازه را افزایش می دهد بنابراین در زلزله های ضعیف، اثر میانقاب بر رفتار سازه کاملاً مثبت است. مقاومت سازه نیز با وجود میانقاب افزایش می یابد ولی افت شکل پذیری سازه، به مراتب از افزایش مقاومت آن بیشتر است. بنابراین اثرات میانقاب بر رفتار سازه در زلزله های متوسط تا قوی، نامطلوب است. تحقیقات نشان داده است به علت رفتار ترد، هر گونه اتصال میانقاب به قاب اصلی، باعث شکست ناگهانی میانقاب و فروریزش آن خواهد شد [26]. بنابراین بهترین نوع اتصال بین میانقاب و قاب، روشی است که ضمن استفاده از سختی و مقاومت میانقاب، از ورود آن به فاز غیر خطی بطور کامل جلوگیری نماید.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله یک برنامه آزمایشی برای بررسی پارامترهای موثر بر رفتار قابهای فولادی دارای دیوار میانقاب بنایی ارائه گردید. نمونه های آزمایش شامل یک قاب بدون میانقاب و شش قاب دارای میانقاب بودند. در این شش نمونه دارای میانقاب اثرات متفاوتی شامل نوع آجر، ضخامت دیوار و اثرات باز شو در میانقاب مطالعه شد. آجرهای مورد استفاده در اجرای پانل دیوار میانقاب از نوع آجر رسی بدون سوراخ، آجر رسی سوراخدار و بلوک های سفالی سبک متداول در ایران بودند. همه نمونه ها تحت اثر جابجایی جانبی داخل صفحه قرار گرفته و تحت اثر بارگذاری شبه استاتیکی یکنواخت تست شدند. برخی از مهم ترین نتایج این مطالعه به شرح زیر هستند.

- وجود میانقاب در حالت کلی باعث کاهش قابل توجه شکل پذیری سازه، افزایش سختی اولیه و مقاومت نهایی آن می گردد. بنابراین اثرات میانقاب بر رفتار سازه، در زلزله های ضعیف که باعث ترک قابل توجه در میانقاب نشوند، مطلوب و در زلزله های متوسط تا قوی، نامطلوب است. ضمناً وجود میانقاب به علت تحمیل تغییرشکل های موضعی به اعضای قاب، کرنش موجود در آنها را افزایش می دهد ولی باعث کاهش کرنش در چشمه اتصال خواهد شد.
- نوع آجر و مصالح مصرفی در دیوار میانقاب تاثیر قابل ملاحظه ای در رفتار قاب فولادی دارد. الگوی ترک خوردگی و مدهای شکست میانقاب نیز به شدت متأثر از نوع مصالح دیوار میانقاب است. به علاوه نوع و میزان آسیب در قاب فولادی با تغییر مصالح میانقاب و نوع آجر متفاوت است. بنابراین توصیه می شود در انتخاب نوع آجر و مصالح دیوارهای میانقاب، به اثرات موضعی آن بر روی قاب توجه گردد.
- حضور میانقاب موجب افزایش سختی اولیه قاب می گردد اما لزوماً سختی موثر را افزایش نمی دهد. به مرور و با افزایش جابجایی، به دلیل اثرات موضعی میانقاب، بخش هایی از قاب دچار کماتش موضعی زودرس شده و تسلیم می شوند. با اعمال جابجایی بیشتر، میانقاب به دلیل ساختار ترد، تخریب شده و دچار فروریزش می شود و با توجه به تسلیم موضعی قاب، افت شدید سختی را به دنبال خواهد داشت. سختی موثر از نمودار دوخطی بدست می آید بنابراین تابعی از شکل کلی نمودار نیرو-جابجایی قاب است. لذا سختی موثر قاب دارای میانقاب ممکن است با توجه به خصوصیات و نوع دیوار میانقاب، کمتر از سختی قاب فاقد میانقاب باشد.
- افزایش ضخامت دیوار میانقاب موجب افزایش چشمگیر سختی و مقاومت جانبی و نیز کاهش قابل توجه شکل پذیری می گردد. لذا در مواردی که در طبقه همکف ساختمانهای چند طبقه از دیوارهای بنایی ضخیم با آجر فشاری استفاده می شود می بایست اثرات افزایش سختی طبقه و ایجاد نامنظمی در ارتفاع ساختمان مد نظر قرار گرفته و کنترل گردد.
- حضور باز شو موجب جابجایی مسیر انتقال بار در قطر فشاری میانقاب می گردد. نوع باز شو در یا پنجره بر الگوی ترک خوردگی و مد شکست دیوار موثر است. نمونه دارای باز شو در دارای سختی موثر کمتری نسبت به نمونه دارای باز شو پنجره است.

سپاسگزاری

از شرکت عمران سازه و نیز آزمایشگاه سازه دانشگاه آزاد واحد کرمانشاه بابت همکاری فراوان در ساخت نمونه ها و انجام آزمایشات تقدیر و تشکر می گردد.

مراجع

- [1] Federal Emergency Management Agency. FEMA. (1998). *Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings*. Report no. FEMA 306. Washington (DC); FEMA.
- [2] Federal Emergency Management Agency. FEMA. (2000). *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*. Report no. FEMA 356. Washington (DC); FEMA.

- [3] Moghaddam, Hassan A., and Patrick J. Dowling. (1987). The state of the art in infilled frames. *London: Imperial College of Science and Technology, Civil Engineering Department.*
- [4] Abrams, Daniel Paul, ed. (1994). Proceedings from the NCEER workshop on seismic response of masonry infills. *CEER.*
- [5] Calvi, G. M., and S. Santini. (1996). Experimental and numerical investigations on the seismic response of RC infilled frames and recommendations for code provisions.
- [6] Crisafulli, Francisco J., Athol J. Carr, and Robert Park. (2000). Analytical modelling of infilled frame structures-a general review. *Bulletin-New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 33(1), 30-47.
- [7] Polyakov, S. V. (1963). Masonry in Framed buildings. *National lending library for science and technology*, (Original work published 1956).
- [8] Stafford Smith, B., Carter, C. (1969). A method of analysis for infilled frames. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 44, 31-48.
- [9] Flanagan, R. D., Bennett, R. M., Barclay, G. A. (1999). In-plane behavior of structural clay tile infilled frames. *ASCE. J. Struct., Eng.*, 125(6), 590-599.
- [10] Seah, C. K. (1998). *A universal approach for the analysis and design of masonry infilled frame structures*. Ph.D. thesis. The University of New Brunswick, Canada.
- [11] Saneinejad, A., Hobbs, B. (1995). Inelastic design of infilled frames. *ASCE. J. Struct., Division*, 121(4), 634 -650.
- [12] Smith, B. Stafford. (1962). Lateral stiffness of infilled frames. *Journal of the Structural Division*, 88(6), 183-226.
- [13] Smith, B. Stafford. (1966). Behavior of square infilled frames. *Journal of the Structural Division*, 92(1), 381-404.
- [14] Reflak, J., Fajfar, P. (1991). Elastic analysis of infilled frames using substructures. *Proceedings of the 6th Canadian Conf. on Earthquake Engineering*. City: Toronto.
- [15] Mosalam, K., White, R. N., Gergely, P. (1997). *Seismic evaluation of frames with infill walls using pseudo-dynamic experiments* [Rep. No. NCEER- 97-0020].
- [16] Buonopane, S. G., White, R. N. (1999). Pseudodynamic testing of masonry-infilled reinforced concrete frame. *ASCE. J. Struct., Eng.*, 125(6), 578-589.
- [17] Aliaari, Mohammad, and Ali M. Memari. (2005). Analysis of masonry infilled steel frames with seismic isolator subframes. *Engineering Structures*, 27(4), 487-500.
- [18] Mohammadi, M., and V. Akrami. (2010). An engineered infilled frame: Behavior and calibration. *Journal of Constructional Steel Research*, 66(6), 842-849.
- [19] Mohebkah, Amin, A. A. Tasnimi, and H. A. Moghadam. (2008). Nonlinear analysis of masonry-infilled steel frames with openings using discrete element method. *Journal of Constructional Steel Research*, 64(12), 1463-1472.
- [20] Tasnimi, A. A., and A. Mohebkah. (2011). Investigation on the behavior of brick-infilled steel frames with openings, experimental and analytical approaches. *Engineering Structures*, 33(3), 968-980.
- [21] Chen, Xi, and Yi Liu. (2015). Numerical study of in-plane behaviour and strength of concrete masonry infills with openings. *Engineering Structures*, 82, 226-235.
- [22] Okail, Hussein, et al. (2014). Experimental and analytical investigation of the lateral load response of confined masonry walls. *HBRC Journal*.
- [23] Essa, Ahmed Sayed Ahmed Tawfik, Mohamed Ragai Kotp Badr, and Ashraf Hasan El-Zanaty. (2014). Effect of infill wall on the ductility and behavior of high strength reinforced concrete frames. *HBRC Journal*, 10(3), 258-264.
- [24] Abdel-Hafez, Lila M., A. E. Y. Abouelezz, and Faseal F. Elzefer. (2015). Behavior of masonry strengthened infilled reinforced concrete frames under in-plane load. *HBRC Journal* 11(2), 213-223.
- [25] Kahrizi, Mehdi. (2019). *Modeling and Evaluating the Behavior of Masonry Infill Walls Connected to Steel Frames with Different Connection Details*. Ph.D. thesis. Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.
- [26] Kahrizi, M., and TahamouliRoudsari, M. (2019). Experimental and numerical investigation of the parameters affecting the behavior of steel frames with masonry infill walls anchored with the ADAS yielding damper. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 1-22.
- [27] American Society for Testing and Materials. ASTM C 67 – 02c. (2002). *Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*.
- [28] American Society for Testing and Materials. ASTM C 109/C 109M – 07. (2007). *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*.
- [29] American Society for Testing and Materials. ASTM C 1314 – 03a. (2003). *Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms*.
- [30] American Society for Testing and Materials. ASTM A370-02. (2002). *Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products*, , Philadelphia, PA.