



Sharif University of Technology

<https://sjce.journals.sharif.edu>



Research Note

Investigating the Arrangement of Rebars on the Ductility of Concrete Shear Wall with FEM Simulation

Ebrahim Koochaki* and Arash Sayari

¹Department of Civil Engineering, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran.

* corresponding author: (e.kouchaki@iausdj.ac.ir)

Article Info

Article history:

Received: 9 January 2024

Revised: 6 May 2024

Accepted: 29 May 2024

Keywords:

Concrete shear wall,
reinforcement angle,
ductility,
hardness,
bearing capacity.

Abstract

The structural system of a concrete bending frame is common in most seismic areas and is sometimes combined with braces or shear walls. Iran is considered an earthquake-prone country in the world, where shear walls are widely used in concrete structures. Shear walls are considered to be one of the main earthquake-resistant members in concrete buildings; therefore, the actual performance and behavior of these walls are of interest to engineers and designers. In this study, the effect of rebar arrangement on the ductility of concrete shear walls was investigated by simulating finite elements using Abaqus software. For this purpose, the models made by considering different angles of reinforcement in two cases of short and long concrete shear walls with a height of 2.5 and 4.5 meters, respectively, were modeled and analyzed under bearing load and seven earthquake records. The results showed that when comparing the ductility, stiffness, and bearing capacity for short and long concrete shear wall models with different reinforcement angles up to 75 °, there is a decreasing trend, and adding diagonal reinforcements to the model increases the ductility, stiffness, and bearing capacity. In addition, under the bearing load, the highest von Mises stress occurred at the foot of the shear wall, and in the case of earthquake records, the side areas and corners of the concrete shear wall had the highest von Mises stress. In the case of the stress contour for short walls with 15°, 45°, and 90° reinforcement angles under a drift load of 1%, it was observed that with an increase in the reinforcement angle, the stress value in the wall first increased and then decreased. In the case of the stress contour for the short walls with reinforcement angles of 15°, 45°, and 90° under a drift load of 2%, the amount of stress in the wall increased with an increase in the angle of the reinforcement.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

To Cite this article:

Koochaki, E. and Sayari, A. 2025. Investigating the Arrangement of Rebars on the Ductility of Concrete Shear Wall with FEM Simulation, Sharif Civil Engineering Journal, 41, 1, pp.72-83. <https://doi.org/10.24200/sjce.2024.63525.3282>

E-ISSN: 2676-4776 © 2025 The Author(s). Sharif Civil Engineering Journal, Publish by Sharif University of Technology

This is an open access article under the [CC-BY 4.0 license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



بررسی چیدمان میلگرد در شکل پذیری دیوار برشی بتنی با شبیه سازی اجزاء محدود

ابراهیم کوچکی* و آرش سیاری

گروه مهندسی عمران، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران.

*نویسنده مسئول (e.kouchaki@iausdj.ac.ir)

چکیده

در مطالعه‌ی حاضر، به بررسی چیدمان میلگرد در شکل پذیری دیوار برشی بتنی با نرم افزار آباکوس پرداخته شده است. مدل های ساخته شده با در نظر گرفتن زاویه های مختلف آرماتور در دو حالت کوتاه و بلند به ترتیب با ارتفاع ۲/۵ و ۴/۵ متر مدل سازی و تحت بار پوش آور و ۷ رکورد زلزله تجزیه و تحلیل شده است. نتایج نشان داده اند که در حالت مقایسه ی شکل پذیری، سختی، و ظرفیت باربری برای مدل های دیوار برشی بتنی کوتاه و بلند با زاویه های مختلف آرماتور تا زاویه ی ۷۵ درجه روند کاهشی داشته و با افزودن آرماتورهای قطری به مدل، موجب افزایش شکل پذیری، سختی، و ظرفیت باربری می شود. تحت بار پوش آور، بیشترین مقدار تنش در پای دیوار برشی بوده و در حالت رکوردهای زلزله، نواحی کناری و گوشه های دیوار برشی بتنی، بیشترین مقدار تنش را داشته اند.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۹

تاریخ اصلاحیه: ۱۴۰۳/۰۲/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۹

واژگان کلیدی:

دیوار برشی بتنی،

زاویه ی آرماتور،

شکل پذیری،

سختی،

ظرفیت باربری.

۱. مقدمه

یکی از سیستم های مناسب برای مقابله با نیروهای جانبی مؤثر بر یک سازه (اثر باد یا زلزله)، استفاده از دیوار سازه ای برشی است. اثر زلزله در ساختمان ها از سایر آثار وارد بر آن ها کاملاً متفاوت است. نیروهای ناشی از زلزله به مراتب شدیدتر و پیچیده تر از سایر نیروهای مؤثر هستند. عناصر مقاوم در مقابل نیروهای ذکر شده، شامل قاب خمشی، دیوار برشی، یا ترکیبی از آن دو هستند. از لحاظ برتری می توان گفت که دیوار برشی، اقتصادی تر از قاب است. دیوارهای برشی قسمت عمده ی نیروهای جانبی وارد بر سازه و برش های حاصل از آن را جذب می کنند و در حقیقت دیوارهای بتن آرمه ای هستند که سختی داخل صفحه ای بسیار زیادی دارند. رفتار دیوارهای برشی مشابه رفتار تیرهای طره ای است. علت نام گذاری این گونه دیوارها به نام دیوارهای برشی آن است که عمده ی برش ناشی از نیروهای جانبی وارد به سازه را تحمل و به زمین منتقل می کنند. با وجود آنکه نام آن ها، دیوارهای برشی است؛ اما رفتار آن ها مشابه تیرهای طره ای با رفتار خمشی است. در دیوارهای برشی با نسبت ارتفاع به عرض کوچک، برش بیش از خمش حائز اهمیت است و رفتار به سمت رفتار برشی متمایل می شود. در مقابل، با افزایش نسبت ابعادی در این گونه دیوارها رفتار به سمت رفتار خمشی متمایل می شود. اجزاء سازه ای در جریان اعمال بارهای ثقیل و جانبی در اغلب موارد با ورود به ناحیه ی رفتار خمیری و به وجود آمدن مفصل خمیری، کمبود ظرفیت مقاومت خود را جبران می کنند.

فلسفه ی آرماتورگذاری در دیوار برشی بتن آرمه با توجه به نوع کارکرد دیوار برشی، به عنوان المان باربر جانبی است؛ به صورتی که در دیوارهای برشی، که در آن ها عملکرد به صورت خمشی است، میلگردگذاری متفاوتی متصور است و همچنین در دیوارهای برشی، که عملکرد آن به صورت برشی است، میلگردگذاری متفاوتی تجویز شده است. در پژوهش حاضر بناست که نوع متفاوت آرماتورگذاری در دیوار برشی به شکلی که تاکنون پژوهشگران به آن نپرداخته اند، بررسی و ارزیابی عددی شود.

راونجانت^۱ و همکاران (۲۰۰۹)، به بررسی دیوارهای برشی بتنی با بتن سبک در حالت های قرارگیری متفاوت میلگردهای جان پرداخته و چهار مدل دیوار برشی با بتن سبک را مطالعه کرده اند؛ به صورتی که مدل اولیه، چینش مرسوم آرماتور در دیوار برشی را داشته و در مدل های دیگر با اضافه شدن میلگرد قطری در دیوار با دو تراکم متفاوت و نیز به صورت اضافه شدن میلگرد قطری به انتهای دیوار بوده است.^[۱]

نگوین^۲ و همکاران (۲۰۱۷)، به بررسی و مدل سازی عددی دیوار برشی کامپوزیت بتنی به همراه ورق های فولادی پرداخته و شکست دیوار به صورت آزمایشگاهی را اعتبارسنجی و محل ها و الگوی آسیب دیوارها را بررسی کرده اند. در نهایت، شاخص های آسیب در دیوارهای مذکور بررسی شده است.^[۲] رضاپور و قاسمی (۲۰۱۸)، به مدل سازی دیوارهای کوبله ی برشی بتنی به روش المان

² Nguyen¹ Raongjant

نشان داده‌اند. علاوه بر این، مدل‌های المان محدود در آباکوس^۶ ایجاد و تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که نتایج آنالیز عددی با نتایج آزمایش تطابق خوبی داشته است.^[۵]

میان^۷ و همکاران (۲۰۲۲)، به تأثیر نسبت دهانه‌ی برشی و نسبت آرماتور قائم در شکست دیوارهای برشی بتنی با هندسی مشابه پرداخته‌اند. در ابتدا، مدل آزمایشگاهی با مدل‌سازی عددی تأیید شد. سپس آثار نسبت دهانه‌ی برشی و نسبت آرماتور قائم در خواص مکانیکی دیوارهای برشی بتنی با اندازه‌های سازه‌های مختلف با استفاده از روش مذکور بررسی شد. نتایج نشان داد که حالت شکست دیوارهای برشی با افزایش نسبت دهانه‌ی برشی از شکست برشی به شکست خمشی تغییر می‌کند. با افزایش نسبت دهانه‌ی برشی، ظرفیت برشی دیوار برشی کاهش و شکل‌پذیری افزایش یافته است، که منجر به تضعیف اثر اندازه شده است. افزایش نسبت آرماتور قائم، افزایش جزئی در ظرفیت برشی دیوار برشی داشته است، اما تقریباً تأثیری در شکل‌پذیری و اثر اندازه نداشته است.^[۶]

چنگ^۸ و همکاران (۲۰۲۲)، در مطالعه‌ی رفتار لرزه‌ای دیوارهای باریک بتن مسلح پیش‌تنیده با پایه‌ی کوتاه^۹ را بررسی کرده‌اند. ایشان سه دیوار پایه کوتاه با نسبت ابعادی بالا ۲/۰ برای الگوهای بارگذاری مختلف، از جمله نیروهای محوری ثابت و نیروهای محوری متغیر، همراه با بارگذاری برشی چرخه‌ای را آزمایش کردند و دریافتند که حالت‌های شکست با الگوهای بارگذاری، از جمله: شکست خمشی- برشی (کشش محوری ثابت همراه و بار برشی چرخه‌ای)، شکست فشاری برشی (فشار محوری ثابت همراه و بار برشی چرخه‌ای)، و شکست خمشی (نیروهای محوری متغیر همراه و بارگذاری برشی چرخه‌ای) متفاوت است. نیروهای محوری متغیر منجر به کاهش مقاومت کششی- برشی نرمال و نیز مقاومت فشاری- برشی دیوارهای پایه کوتاه به ترتیب ۸/۵ و ۹/۱ درصد و کاهش ۳۵ درصدی نسبت نهایی کشش برشی شده است. نسبت دریافت نهایی دیوارهای پایه کوتاه از ۱/۸ تا ۳/۷ درصد متغیر بوده است. نیروهای محوری متغیر، بیشینه‌ی عرض ترک را در دیوارهای پایه کوتاه افزایش داده‌اند، اما به وضوح انرژی انباشته‌شده‌ی دیوارهای پایه کوتاه را کاهش داده‌اند؛ زیرا شکل منحنی‌های هیستریک را تغییر داده‌اند. در نهایت، یک مدل المان محدود از دیوارهای پایه کوتاه توسعه داده شده است.^[۷]

چنگ^{۱۰} و همکاران (۲۰۲۳)، در یک مطالعه‌ی تجربی به بررسی تحلیل مکانیزم عملکرد لرزه‌ای خارج از صفحه‌ی دیوارهای برشی بتن مسلح پرداخته و آثار پارامترهایی، مانند: نسبت فشار محوری، ضخامت دیوار، نسبت ارتفاع به عرض، و عیار بتن در عملکرد لرزه‌ای درون صفحه و خارج از صفحه در سطح عضو را در ترکیب با تحلیل پارامتر متغیر المان محدود تجزیه و تحلیل کرده‌اند. در سطح سیستم سازه، تجزیه و تحلیل تاریخی‌ی زمانی سازه‌های دیوار برشی ۲ قاب برای آثار تکرارهای و توالی پس‌لرزه‌ی اصلی ایجاد و آسیب سازه از طریق بیشینه‌ی دریافت طبقه و چرخش ارزیابی شده است. نتایج نشان داد که عملکرد لرزه‌ای خارج از صفحه‌ی دیوارهای برشی به‌طور قابل توجهی ضعیف‌تر از عملکرد لرزه‌ای داخل صفحه با اختلاف ۱۵/۱ تا ۲۰/۱ برابر ظرفیت باربری بوده است،

محدود ماکروسکوپیک پرداخته و از المان‌های متفاوت المان محدودی استفاده کرده‌اند. دیوار برشی کوپله با سه تیر با با متغیر بودن نوع اتصال تیر با سختی متفاوت، مدل‌سازی و رفتار خمشی برشی آن‌ها به‌صورت غیرخطی بررسی شده است. همچنین در پژوهش مذکور، مودهای جابجایی به‌دست آمده و تحت بارهای چرخه‌ای بررسی شده‌اند.^[۳]

سوارز^۱ و همکاران (۲۰۲۱)، پاسخ دیوارهای برشی ترکیبی آلیاژ حافظه‌دار (SMA)^۲ فولاد حاوی SMA فوق‌کشسان نیکل- تیتانیوم را به‌عنوان تقویت‌کننده‌ی جایگزین در ناحیه‌ی مفصل خمیری با استفاده از مدل‌سازی المان محدود غیرخطی بررسی کرده‌اند. سیستم دیوار هیبریدی باعث ارتقاء خودمحوری و کاهش قابل توجه تغییر شکل‌های دائمی می‌شود. لذا، دو نوع دیوار برشی بتنی مسلح‌شده با فولاد معمولی برای یک ساختمان اداری ۱۰ طبقه با توجه به استاندارد طراحی فعلی بتن کانادا، با فرض دو سناریوی طراحی لرزه‌ای مجزا طراحی شده است: ۱) دیوار برشی با شکل‌پذیری متوسط برای یک منطقه‌ی لرزه‌خیز متوسط در شرق کانادا و ۲) دیوار برشی شکل‌پذیر برای یک منطقه‌ی لرزه‌ای بالا در غرب کانادا. معادل دیوارهای برشی بتن مسلح SMA فولاد هیبریدی، دو دیوار برشی معمولی نیز از نظر هندسه و طرح آرماتور تعریف و طراحی شده‌اند. مدل‌های المان محدود دوبعدی در مقیاس کامل برای ارزیابی واکنش‌های فشاری و هیستریک دیوارها توسعه داده شده‌اند. شباهت در سطح مقطع دیوار و ظرفیت نیروی تسلیم فولاد و آرماتور SMA، امکان مقایسه‌ی بین دیوارها، از جمله: مقاومت، سختی، نیروی محوری، و ظرفیت‌های اتلاف انرژی را فراهم می‌کند. نتایج نشانگر مقاومت جانبی و ظرفیت‌های جابجایی مشابه و ظرفیت ترمیم برتر دیوارهای تقویت‌شده با SMA در مقایسه با دیوارهای تقویت‌شده با فولاد است. علاوه بر این، یک مطالعه‌ی اولیه برای بررسی اثر طول میله‌ی SMA در دیوار شکل‌پذیر به‌دلیل تمرکز آسیب در نزدیکی پایه‌ی دیوار انجام شد؛ که در آن، طول‌های مربوط به تقریباً ۵۰ و ۲۰ درصد از طول SMA اصلی در نظر گرفته شده است.^[۴]

ژانگ^۳ و همکاران (۲۰۲۲)، در یک مطالعه‌ی آزمایشگاهی و تحلیل عددی، عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی ارتجاعی با استفاده از بتن سنگ‌دانه‌ی بازیافتی با مقاومت بالا را بررسی کرده‌اند. ایشان آرماتورهای با مقاومت فوق‌العاده بالا (UHSB)^۴ را به‌طور ابتکاری در دیوارهای برشی بتن بازیافتی با مقاومت بالا (RAC)^۵ برای دست‌یابی به عملکرد ارتجاعی اعمال کرده‌اند. به‌منظور بررسی عملکرد ارتجاعی و لرزه‌ای دیوار برشی، ۵ نمونه با نسبت دهانه‌ی برشی ۲/۲ تحت بارگذاری چرخه‌ای آزمایش شدند. متغیرها همچنین شامل: نوع تقویت طولی در عناصر مرزی، وجود پوشش ضدخوردگی در UHSB، و نسبت جایگزینی سنگ‌دانه‌ی درشت بازیافتی (RCA) بوده‌اند. نتایج نشان داد که استفاده از UHSB در المان‌های مرزی به‌طور قابل توجهی باعث بهبود سختی ثانویه و کاهش جابجایی و عرض ترک در دیوارهای برشی شده است. پوشش ضدخوردگی، مقاومت بین UHSB و RAC را کاهش داده است، اما تأثیر ناچیزی در عملکرد لرزه‌ای و ارتجاعی نمونه‌ها قبل از نسبت دریافت ۲٪ داشته است. افزایش نسبت جایگزینی RCA، کمی نیروی جانبی نمونه‌ها را تحت همان نسبت دریافت کاهش داد، اما دیوارها عملکرد ارتجاعی رضایت‌بخشی را

⁶ ABAQUS

⁷ Miao

⁸ Cheng

⁹ slender prestressed reinforced concrete short-leg walls

¹⁰ Cheng

¹ Soares

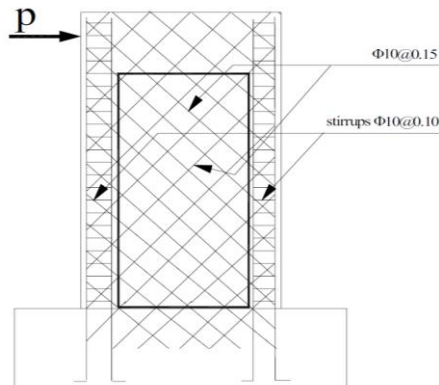
² Shape Memory Alloy

³ Zhang

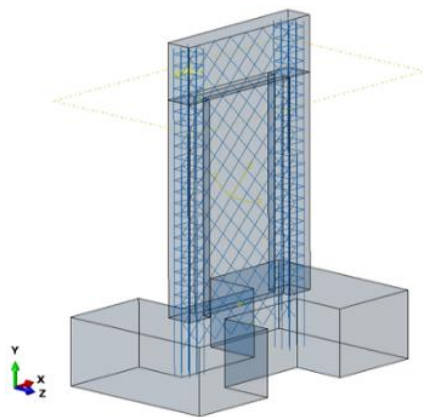
⁴ ultra-high strength bars

⁵ recycled aggregate concrete

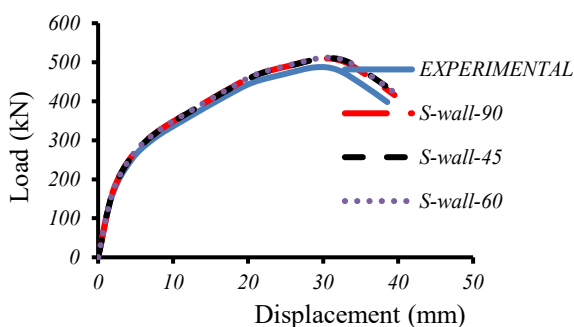
Concrete damage plasticity مدل شده است، که یک مدل پیوسته بر پایه‌ی حالت خمیری و معیار آسیب برای بتن است. در جدول ۱، مشخصات مکانیکی بتن در نظر گرفته شده ارائه شده است. در شکل‌های ۵ و ۶، مشخصات فشاری بتن و مشخصات تنش ترک خوردگی بتن اختصاص داده شده به آباکوس



شکل ۱. شماتیک مدل LW-۲ در نوشتار رانجیانت و همکاران (۲۰۰۹)^[۱].



شکل ۲. شماتیک مدل شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار آباکوس.



شکل ۳. مقایسه‌ی نمودار ظرفیت باربری - جابجایی در مدل LW-۲ و مدل‌های با زوایای مختلف آرماتور.

جدول ۱. مشخصات مکانیکی بتن در نظر گرفته شده.

Modulus Young's (Pa)	ν	ρ (Kg/m ³)
23500000000	0.2	2450

که در آن ضخامت دیوار و نسبت ابعاد برابر بوده است. هنگامی که دیوارهای برشی سازه در جهت خارج از صفحه تحت تأثیر لرزه‌ای قرار می‌گیرند، جهت خارج از صفحه‌ی آن‌ها دچار تغییر شکل زیادی می‌شود و آسیب به راحتی به خصوص در دیوار تک‌جهته با سازه‌ی کمتر رخ می‌دهد. در طراحی لرزه‌ای دیوارهای برشی باید از عملکرد لرزه‌ای داخل صفحه و خارج از صفحه اطمینان حاصل شود و ضخامت دیوار و نسبت ارتفاع به عرض دیوارهای برشی باید به‌طور منطقی کنترل شوند.^[۸]

قاسمی نیا^۱ و همکاران (۲۰۲۳)، به بررسی پاسخ دیوارهای برشی بتنی با آرماتورهای تک و دو لایه تحت بارگذاری سیکلی درون صفحه پرداخته‌اند. مطالعه‌ی تجربی ایشان، شامل: آزمایش دو دیوار برشی بتنی با درصد آرماتور یکسانی بوده است، که به صورت تک‌لایه یا دو لایه تحت بارگذاری برشی سیکلی درون صفحه قرار گرفته‌اند. هدف از آزمایش اخیر، بررسی اثر جزئیات آرماتور بین پیکربندی تک‌لایه و دو لایه بوده است، در حالی که سایر پارامترهای ساختاری کلیدی، مانند: نسبت آرماتور، مقاومت فشاری بتن، سطح بار محوری، نسبت ابعاد، و ضخامت حفظ شده است. نتایج تجربی نشان داده است که دیوار برشی بتنی دو لایه دارای مقاومت درون صفحه‌ی حدود ۳۰٪ و شکل‌پذیری جابجایی حدود ۹/۷٪، نسبت به دیوار برشی بتنی تک‌لایه بوده است.^[۹]

۲. راستی آزمایی

به منظور راستی‌آزمایی در پژوهش حاضر، از مدل LW-۲ در نوشتار رانجیانت و همکاران (۲۰۰۹)^[۱]، برای اعتبارسنجی نرم‌افزاری پژوهش حاضر استفاده شده است، که مشخصات آن در شکل ۱ مشاهده می‌شود. مدل شماتیک شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار آباکوس در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

شرایط مرزی در نظر گرفته شده در مدل‌سازی حاضر به این گونه بوده است که در عضو مرزی تحتانی، درجه‌های آزادی انتقالی و دورانی مقید شده‌اند. همچنین، در المان‌های solid میانی، درجه‌های آزادی خارج از صفحه به منظور دست‌یابی به تحلیل ایده‌آل دو بُعدی مقید شده و فقط اجازه‌ی حرکت در راستای انتقال بار داشته‌اند. لازم به توضیح است بارگذاری به گره‌ی فوقانی المان تیر اختصاص داده شده است. همچنین در رابطه با در نظر گرفتن خواص غیرخطی مصالح از اثر باشینگر^۲ در تعریف خصوصیات غیرارتجاعی مصالح استفاده شده است. با توجه به بار یکنواخت وارده‌ی دیوار، که از جنس جابجایی و به صورت جابجایی بوده است، نیروی متناظر با هر جابجایی وارد شده است، که در نقطه‌ی فوقانی دیوار خوانش می‌شود، به دست آمده است؛ به طوری که با داده‌های به دست آمده، منحنی ظرفیت ترسیم و با منحنی‌های منتشر شده در نوشتار حاضر مقایسه شده است. مقایسه‌ی نمودار ظرفیت باربری - جابجایی در شکل ۳ مشاهده می‌شود. با بررسی نتایج ملاحظه می‌شود که در حالت دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۹۰ درجه با مدل آزمایشگاهی، ۴/۵٪ اختلاف داشته است، که این مقدار برای دیوار با زاویه‌ی ۴۵ درجه به ۴/۷٪ رسیده است.

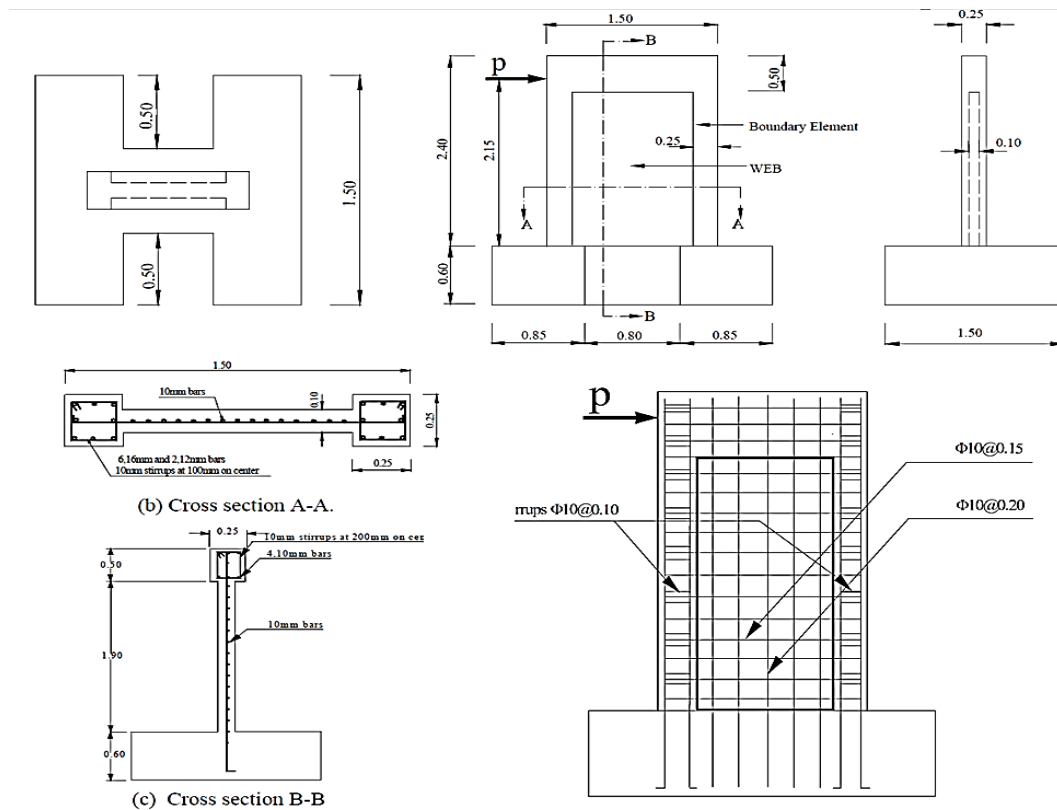
۳. مدل سازی

جزئیات هندسی مقاطع و دیوار براساس مدل راستی‌آزمایی رانجیانت و همکاران (۲۰۰۹)^[۱] در شکل ۴ مشاهده می‌شود. لازم به توضیح است که ضخامت دیوار مطالعه شده، ۲۰ سانتی‌متر بوده است. در پژوهش حاضر، بتن با استفاده از مدل

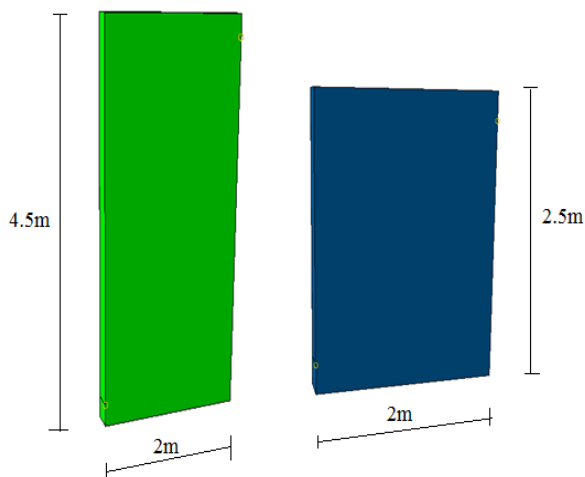
^۲ Bauschinger Effect

بررسی چیدمان میلگرد در شکل‌پذیری دیوار برشی بتنی با شبیه‌سازی اجزاء محدود - ابراهیم کوچکی و همکار

مشاهده می‌شود. همچنین، در جدول ۲، مشخصات مصالح میلگردهای مشاهده می‌شود. همچنین، در شکل ۷، شماتیک دیوارهای مطالعه‌شده مشاهده می‌شود. در معرفی‌شده به نرم‌افزار آباکوس ارائه شده است. جدول ۳، نیز مدل‌های مطالعه‌شده ارائه شده‌اند.



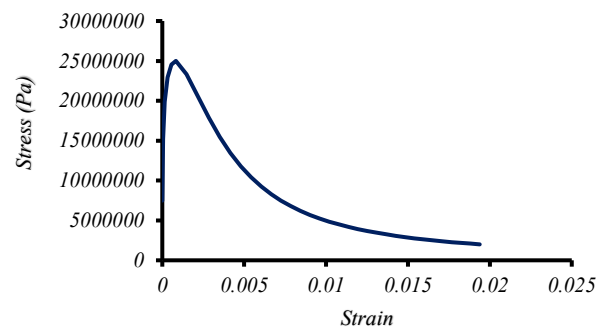
شکل ۴. جزئیات هندسی و آرماتورگذاری برای دیوار در نظر گرفته‌شده [۱].



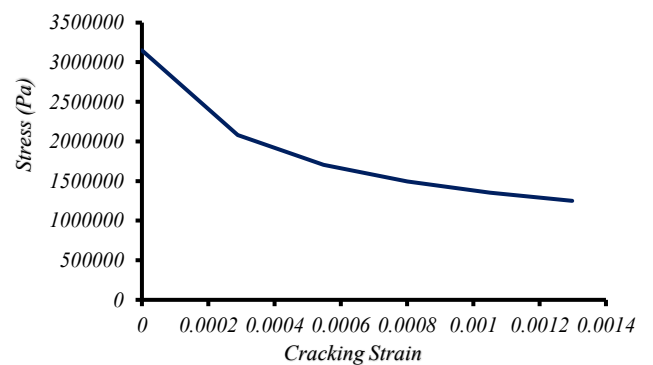
شکل ۷. شماتیک دیوارهای مطالعه‌شده.

جدول ۲. مشخصات مصالح میلگردهای معرفی‌شده به آباکوس.

F_u (Kg/cm ²)	F_y (Kg/cm ²)	ν	ρ (Kg/m ³)	Young's Modulus (Kg/cm ²)
5640	3600	0.3	7500	2060000



شکل ۵. مشخصات فشاری بتن اختصاص داده‌شده به آباکوس.



شکل ۶. مشخصات تنش ترک‌خوردگی بتن اختصاص داده‌شده به آباکوس.

جدول ۳. مشخصات مصالح میلگردهای معرفی شده به آباکوس.

Reinforcing armature	The angle of longitudinal reinforcement	The angle of transverse reinforcement	Wall height	Model name
	165	15	2.5	S-wall-15
	150	30	2.5	S-wall-30
	135	45	2.5	S-wall-45
	125	55	2.5	S-wall-55
	120	60	2.5	S-wall-60
	115	75	2.5	S-wall-75
	90	0	2.5	S-wall-90
Two Diagonal reinforcement	90	0	2.5	S-wall-90-D
Two Diagonal reinforcement	135	45	2.5	S-wall-D
	165	15	4.5	T-wall-15
	150	30	4.5	T-wall-30
	135	45	4.5	T-wall-45
	125	55	4.5	T-wall-55
	120	60	4.5	T-wall-60
	115	75	4.5	T-wall-75
	90	0	4.5	T-wall-90
Two Diagonal reinforcement	90	0	4.5	T-wall-90-D
Two Diagonal reinforcement	135	45	4.5	T-wall-D

آن‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. رکوردهای زلزله‌ی استفاده‌شده از سایت PEER دانلود شده‌اند. برای مقیاس‌سازی رکوردهای زلزله در پژوهش حاضر از نرم‌افزار ساینمومچ^۱ استفاده شده است. نرم‌افزار ساینمومچ، یکی از مجموعه نرم‌افزارهای کمپانی ساینموسافت^۲ است. نرم‌افزار ساینمومچ برای این استفاده می‌شود که رکورد دریافتی را با طیف آیین‌نامه همسو سازد. البته باید به این نکته توجه داشت که برنامه ساینمومچ با رکوردهای دریافتی از سایت PEER مطابقت دارد. در پژوهش حاضر، رکوردهای زلزله براساس طیف خاک تیپ II آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ مقیاس‌سازی شده است. پس از واردکردن رکوردهای زلزله براساس طیف خاک II تعریف‌شده در نرم‌افزار، کار مقیاس‌سازی رکوردها توسط نرم‌افزار انجام می‌شود و می‌توان از رکوردهای اصلاح‌شده در نرم‌افزار آباکوس استفاده کرد. در ادامه، رکوردهای زلزله‌ی اصلاح‌شده در نرم‌افزار از طریق بار تابع زمانی amplitude از نوع Tabular به دیوار اعمال شده است. همچنین

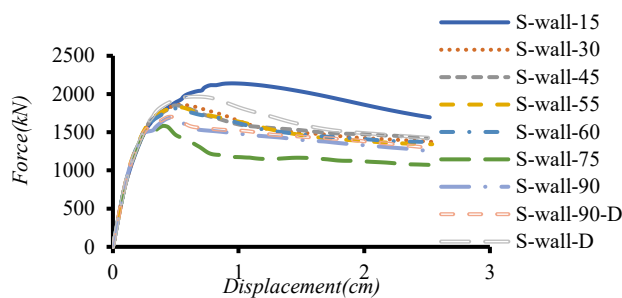
در پژوهش حاضر، برای تحلیل مدل‌های دیوار برشی تحت بار زلزله از تحلیل دینامیکی غیرخطی dynamic explicit استفاده شده است. تحلیل دینامیکی به‌صورت صریح مخصوص محاسبات مدل‌های بزرگ با زمان‌های پاسخ دینامیکی کوتاه و برای فرایندها یا مدل‌هایی با ناپیوستگی‌های به‌شدت زیاد است. همچنین، تحلیل مذکور امکان تعریف شرایط تماسی عمومی و استفاده از تئوری تغییرشکل‌های بزرگ را فراهم می‌سازد. در مدل‌سازی در نرم‌افزار آباکوس برای اندرکنش آرماتورها و پوشش بتنی از قید Embedded region استفاده شده است، که به کاربر این امکان را می‌دهد که ناحیه‌ای را به‌عنوان میزبان و ناحیه‌ای را به‌عنوان مدفون تعریف کند؛ که در آن، ناحیه‌ی مدفون در کل یا ناحیه‌ای از مدل قرار دارد. از قید Embedded region برای مدل‌کردن سازه‌های بتن‌آرمه با جزئیات زیاد نیز استفاده می‌شود. در پژوهش حاضر، از ۷ رکورد زلزله از مناطق مختلف دنیا استفاده شده است، که مشخصات

² SeismoSoft
۷۷

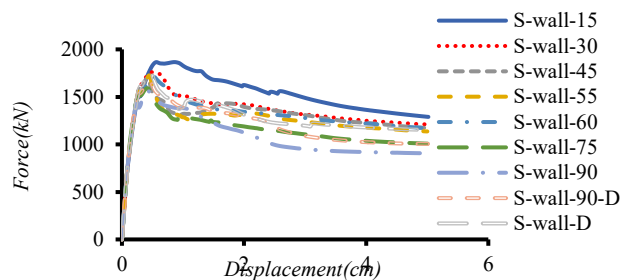
¹ SeismoMatch

جدول ۴. مدل‌های مطالعه‌شده.

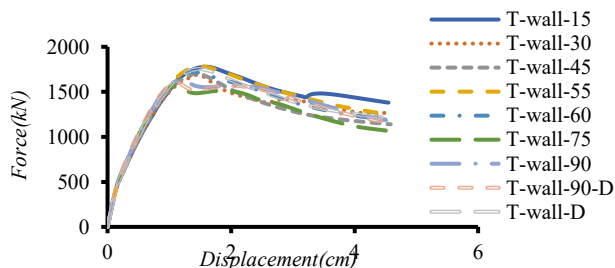
Name Earthquake	Earthquake Station	Year of events	Earthquake magnitude on the Richter scale	Velocity (m/s)
"Loma Prieta"	"Corralitos"	1998	6.93	462.2
"Northridge-01"	"Pacoima Kagel Canyon"	1994	6.69	508
"Kobe_ Japan"	"Nishi-Akashi"	1995	6.9	609
"Duzce_ Turkey"	"Lamont 1058"	1999	7.14	529.1
"San Simeon_ CA"	"Templeton - 1-story Hospital"	2003	6.52	410.6
"Bam_ Iran"	"Bam"	2003	6.6	487.4
"Montenegro_ Yugoslavia"	"Ulcinj - Hotel Albatros"	1979	7.1	410.3



شکل ۸. نمودار نیرو- تغییرمکان برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۱٪.



شکل ۹. نمودار نیرو- تغییرمکان برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪.



شکل ۱۰. نمودار نیرو- تغییر مکان برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۱٪.

برای آنالیز مدل‌های پوش‌آور از تحلیل static riks، که یکی از مراحل قابل انتخاب در آباکوس برای تحلیل مسائل استاتیکی است، استفاده شده است. در مدل‌سازی در نرم‌افزار آباکوس برای اندرکنش آرماتورها و پوشش بتنی از قید Embedded region استفاده شده است؛ که به کاربر این امکان را می‌دهد که ناحیه‌ای را به‌عنوان میزبان و ناحیه‌ای را به‌عنوان مدفون تعریف کند؛ که در آن، ناحیه‌ی مدفون در کل یا ناحیه‌ای از مدل قرار دارد. قید Embedded region برای مدل کردن سازه‌های بتن‌آرمه با جزئیات زیاد استفاده می‌شود. همچنین در قسمت اعمال بار پوش‌آور، که شامل بارهای معادل ۱ و ۲ درصد دررفت ارتفاع دیوار است، از قیدهای Reference point و Coupling استفاده شده است. همچنین پای دیوار به‌صورت تکیه‌گاه گیردار در نظر گرفته شده است.

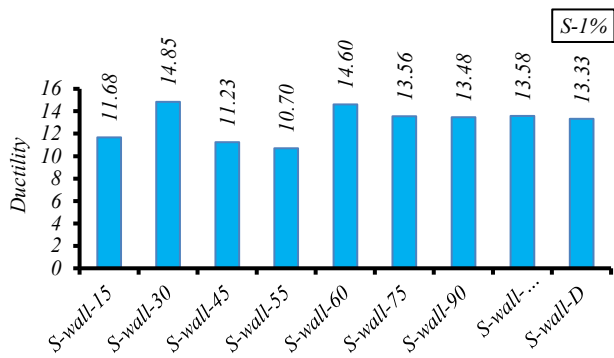
۴. نتایج تحلیل

در شکل ۸، نمودار نیرو- تغییرمکان برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۱٪ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، بیشترین مقدار نیرو مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۱۵ درجه و کمترین مقدار نیرو مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۷۵ درجه است.

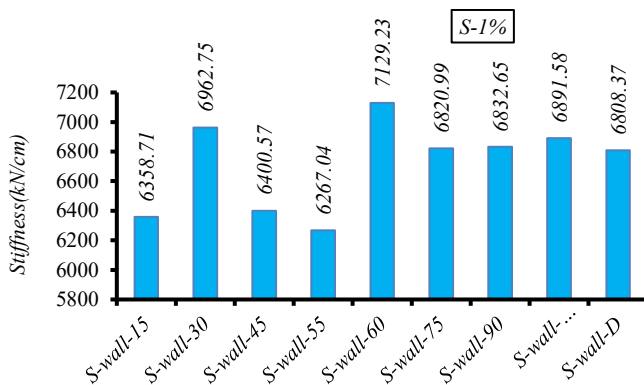
در شکل ۹، نمودار نیرو- تغییرمکان برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، بیشترین مقدار نیرو مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۱۵ درجه و کمترین مقدار نیرو مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۷۵ درجه است.

در شکل ۱۰، نمودار نیرو- تغییرمکان برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۱٪ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، بیشترین مقدار نیرو مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۱۵ درجه و کمترین مقدار نیرو مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۷۵ درجه است.

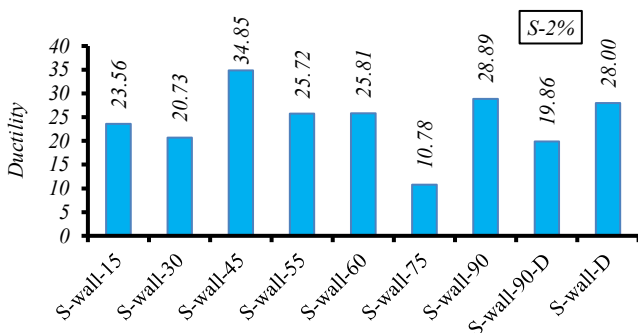
در شکل ۱۱، نمودار نیرو- تغییرمکان برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با



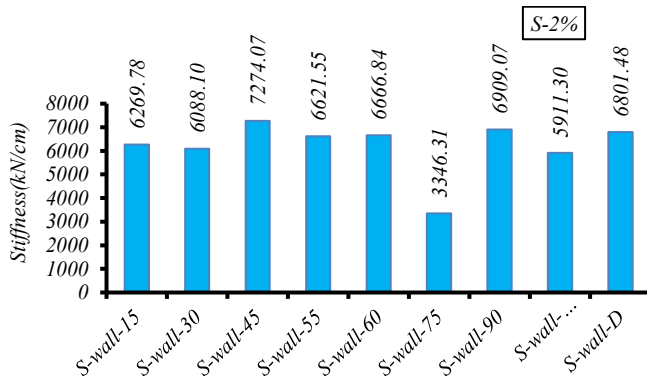
شکل ۱۲. نمودار مقایسه‌ی شکل پذیری برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۱٪.



شکل ۱۳. نمودار مقایسه‌ی سختی برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۱٪.



شکل ۱۴. نمودار مقایسه‌ی شکل پذیری برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪.



شکل ۱۵. نمودار مقایسه‌ی سختی برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪.

آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، بیشترین مقدار نیرو مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه ۵۵ درجه و کمترین مقدار نیرو مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه ۷۵ درجه است.

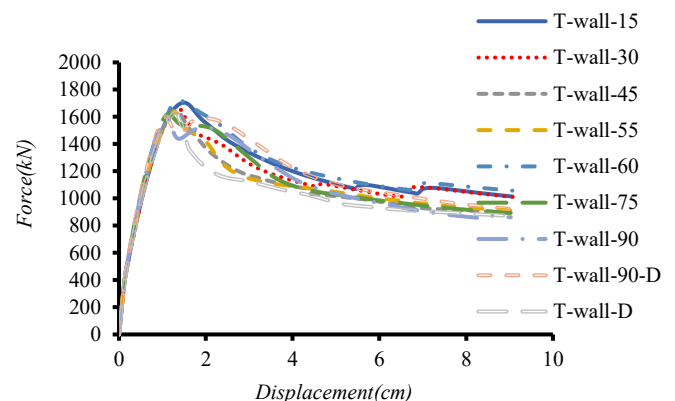
در شکل ۱۲، نمودار مقایسه‌ی شکل‌پذیری برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۱٪ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، کمترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه ۵۵ درجه و بیشترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه ۳۰ درجه است.

در شکل ۱۳، نمودار مقایسه‌ی سختی برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۱٪ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، کمترین مقدار سختی مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه ۵۵ درجه و بیشترین مقدار سختی مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه ۶۰ درجه است.

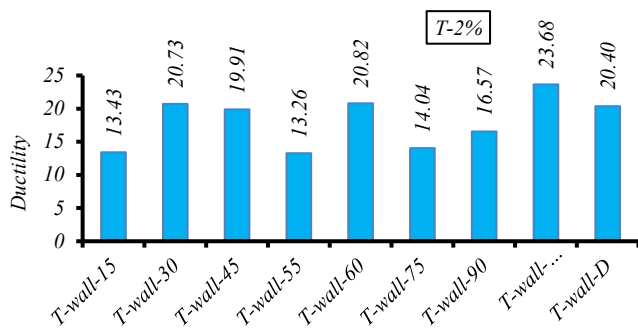
در شکل ۱۴، نمودار مقایسه‌ی شکل‌پذیری برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، کمترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه ۷۵ درجه و بیشترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه ۴۵ درجه است.

همچنین در شکل ۱۵، نمودار مقایسه‌ی سختی برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، کمترین مقدار سختی مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه ۷۵ درجه و بیشترین مقدار سختی مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه ۴۵ درجه است.

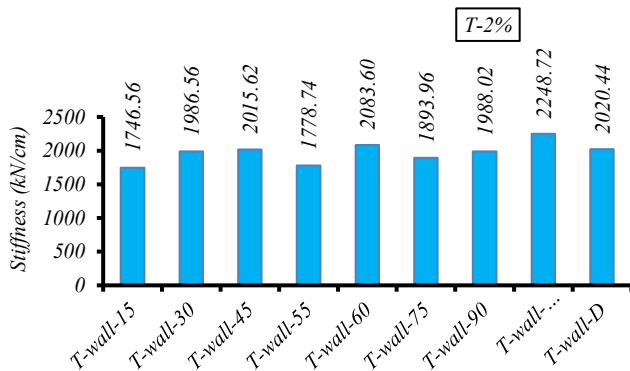
در شکل ۱۶، نمودار مقایسه‌ی شکل‌پذیری برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۱٪ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، کمترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به مدل دیوار با آرماتور قطری و بیشترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه ۴۵ درجه است. در شکل ۱۷، نیز نمودار مقایسه‌ی سختی برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۱٪ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، کمترین مقدار سختی مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه ۹۰ درجه و آرماتور قطری و بیشترین مقدار سختی مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه ۴۵ درجه است.



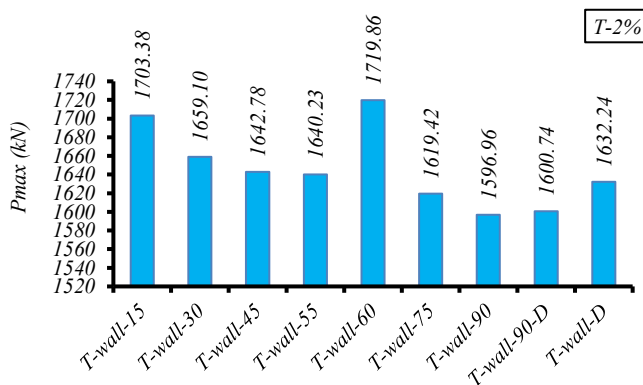
شکل ۱۱. نمودار نیرو- تغییرمکان برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪.



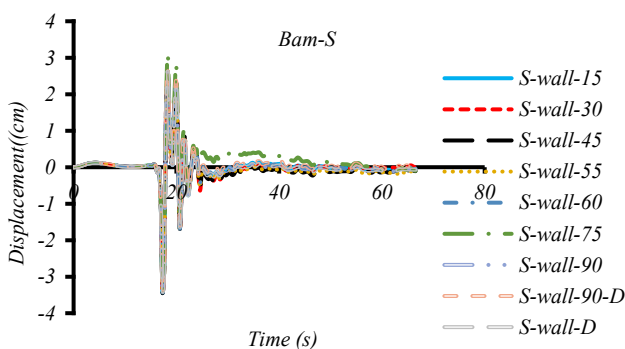
شکل ۱۸. نمودار مقایسه‌ی شکل‌پذیری برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪.



شکل ۱۹. نمودار مقایسه‌ی سختی برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪.



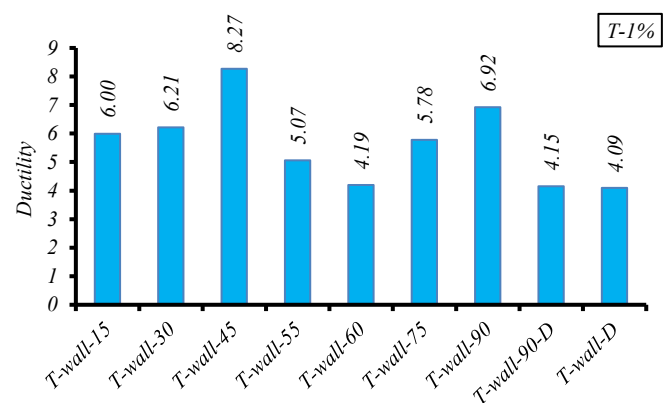
شکل ۲۰. نمودار مقایسه‌ی ظرفیت باربری برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪.



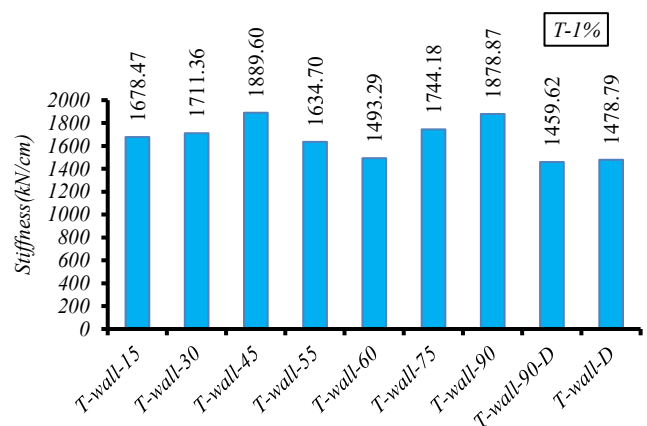
شکل ۲۱. پاسخ جابجایی- زمان تحت شتاب‌نگاشت زلزله‌ی بم برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور.

در شکل ۱۸، نمودار مقایسه‌ی شکل‌پذیری برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، کمترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۵۵ و بیشترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۹۰ درجه و آرماتور قطری بوده است. در شکل ۱۹، نمودار مقایسه‌ی سختی برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، کمترین مقدار سختی مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۱۵ درجه و بیشترین مقدار سختی مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۹۰ درجه و آرماتور قطری است. در شکل ۲۰، نمودار مقایسه‌ی ظرفیت باربری برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، کمترین مقدار ظرفیت باربری مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۹۰ درجه و بیشترین مقدار ظرفیت باربری مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۶۰ درجه است.

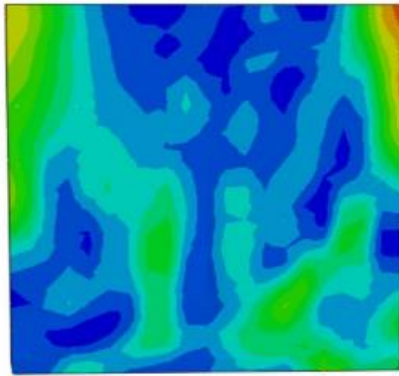
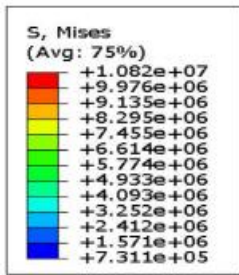
در شکل ۲۱، پاسخ جابجایی- زمان تحت شتاب‌نگاشت زلزله‌ی بم برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، با افزایش زاویه‌ی آرماتورها، مقدار تغییرمکان دیوار کاهش یافته است. در شکل ۲۲، پاسخ جابجایی- زمان تحت شتاب‌نگاشت زلزله‌ی کوبه‌ی ژاپن برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، با افزایش زاویه‌ی آرماتورها، مقدار تغییرمکان دیوار کاهش یافته است.



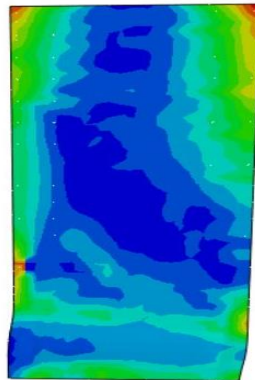
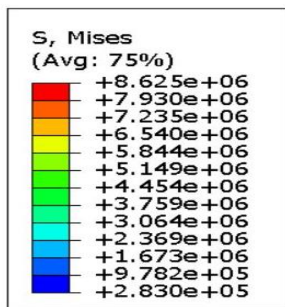
شکل ۱۶. نمودار مقایسه‌ی شکل‌پذیری برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۱٪.



شکل ۱۷. نمودار مقایسه‌ی سختی برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۱٪.



شکل ۲۵. کانتور تنش برای مدل S-wall-D تحت رکورد زلزله ۹۰.



شکل ۲۶. کانتور تنش برای مدل T-wall-D تحت رکورد زلزله ۹۰.

در شکل ۲۶، کانتور تنش برای دیوارهای بلند با زاویه ۹۰ درجه تحت رکورد زلزله ۹۰ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، بیشترین مقادیر تنش در گوشه و کناره‌های دیوار اتفاق افتاده است.

۵. نتیجه‌گیری

در نوشتار حاضر، با هدف بررسی چپش آرماتورهای قطری در دیوارهای برشی بتنی، به شبیه‌سازی اجزاء محدود بر پایه تئوری‌های المان محدود به کمک نرم‌افزار آباکوس پرداخته شده و این نتایج به‌دست آمده است:

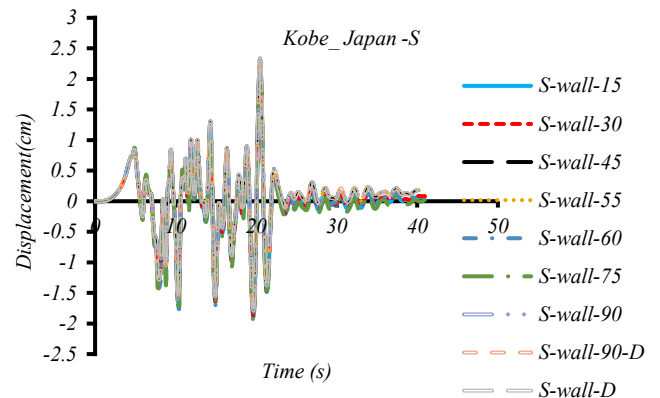
- در حالت مقایسه‌ای شکل‌پذیری برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۱٪، کمترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه ۵۵ درجه به مقدار ۱۰/۷ و بیشترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه ۳۰ درجه به مقدار ۱۴/۸۵ بوده است، که نسبت به کمترین میزان، به مقدار ۳۸/۷۸٪ افزایش یافته است.

- در حالت مقایسه‌ای سختی برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۱٪، کمترین مقدار سختی مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه ۵۵ درجه به مقدار ۶۲۶۷/۰۴ کیلونیوتن بر سانتی‌متر و بیشترین مقدار سختی مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه ۶۰ درجه به مقدار ۷۱۲۹/۲۳ کیلونیوتن بر سانتی‌متر بوده است، که نسبت به کمترین میزان، به مقدار ۱۳/۷۵٪ افزایش یافته است.

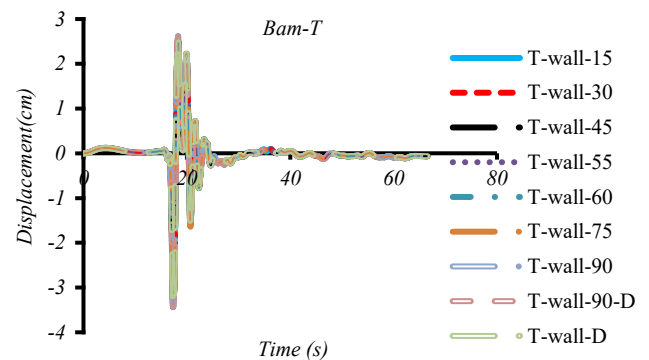
- در حالت مقایسه‌ای ظرفیت باربری برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۱٪، کمترین مقدار ظرفیت باربری مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه ۷۵ درجه به مقدار ۱۵۸۳/۱۴

در شکل ۲۳، پاسخ جابجایی- زمان تحت شتاب‌نگاشت زلزله ۹۰ برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، با افزایش زاویه آرماتورها، مقدار تغییر مکان دیوار کاهش پیدا کرده است. در شکل ۲۴، پاسخ جابجایی- زمان تحت شتاب‌نگاشت زلزله ۹۰ کوبه ژاپن برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، با افزایش زاویه آرماتورها مقدار تغییر مکان دیوار کاهش پیدا کرده است.

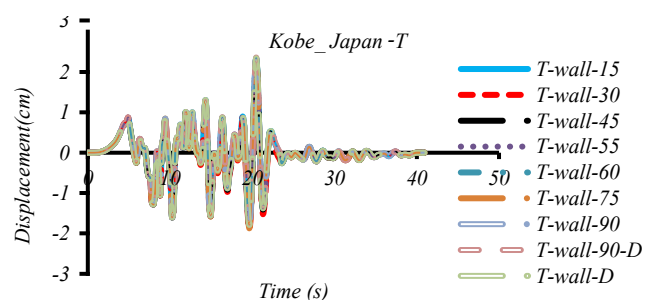
در شکل ۲۵، کانتور تنش برای دیوار کوتاه با زاویه ۹۰ درجه تحت رکورد زلزله ۹۰ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، بیشترین مقادیر تنش در گوشه‌های دیوار اتفاق افتاده است.



شکل ۲۳. پاسخ جابجایی- زمان تحت شتاب‌نگاشت زلزله ۹۰ کوبه ژاپن برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور.



شکل ۲۴. پاسخ جابجایی- زمان تحت شتاب‌نگاشت زلزله ۹۰ برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور.



شکل ۲۵. پاسخ جابجایی- زمان تحت شتاب‌نگاشت زلزله ۹۰ ژاپن برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور.

کیلونیوتن و بیشترین مقدار ظرفیت باربری مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۱۵ درجه به مقدار ۲۱۳۸/۹۵ کیلونیوتن بوده است، که نسبت به کمترین میزان، به مقدار ۳۵/۱۰٪ افزایش یافته است.

- در حالت مقایسه‌ی شکل‌پذیری برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪، کمترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۷۵ درجه به مقدار ۱۰/۷۸ و بیشترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۴۵ درجه به مقدار ۳۴/۸۵ بوده است، که نسبت به کمترین میزان، به مقدار ۲۲۳/۲۸٪ افزایش یافته است.

- در حالت مقایسه‌ی سختی برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪، کمترین مقدار سختی مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۷۵ درجه به مقدار ۳۳۴۶/۳۱ کیلونیوتن بر سانتی‌متر و بیشترین مقدار سختی مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۴۵ درجه به مقدار ۷۲۷۴/۰۷ کیلونیوتن بر سانتی‌متر بوده است، که نسبت به کمترین میزان، به مقدار ۱۱۷/۳۷٪ افزایش یافته است.

- در حالت مقایسه‌ی ظرفیت باربری برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪، کمترین مقدار ظرفیت باربری مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۹۰ درجه به مقدار ۱۵۶۷/۱۸ کیلونیوتن و بیشترین مقدار ظرفیت باربری مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۱۵ درجه به مقدار ۱۸۶۶/۰۹ کیلونیوتن بوده است، که نسبت به کمترین میزان، به مقدار ۱۹/۰۷٪ افزایش یافته است.

- در حالت مقایسه‌ی شکل‌پذیری برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۱٪، کمترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به مدل دیوار با آرماتور قطری به مقدار ۴/۰۹۷ و بیشترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۴۵ درجه به مقدار ۸/۲۷ است، که نسبت به کمترین میزان، به مقدار ۱۰۲/۲٪ افزایش یافته است.

- در حالت مقایسه‌ی سختی برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۱٪، کمترین مقدار سختی مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۹۰ درجه و آرماتور قطری به مقدار ۱۴۵۹/۶۲ کیلونیوتن بر سانتی‌متر و بیشترین مقدار سختی مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۴۵ درجه به مقدار ۱۸۸۹/۶۰ کیلونیوتن بر سانتی‌متر بوده است، که نسبت به کمترین میزان، به مقدار ۲۹/۴۵٪ افزایش یافته است.

- در حالت مقایسه‌ی ظرفیت باربری برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۱٪، کمترین مقدار ظرفیت باربری مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۷۵ درجه به مقدار ۱۵۷۲/۶۷ کیلونیوتن و بیشترین مقدار ظرفیت باربری مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۵۵ درجه به مقدار ۱۷۸۲/۶۵ کیلونیوتن بوده است، که نسبت به کمترین میزان، به مقدار ۱۳/۳۵٪ افزایش یافته است.

- در حالت مقایسه‌ی شکل‌پذیری برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪، کمترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۵۵ درجه و آرماتور قطری به مقدار ۱۳/۲۶ و بیشترین مقدار شکل‌پذیری مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۹۰ درجه و آرماتور قطری به مقدار ۲۳/۶۸ بوده است، که نسبت به کمترین میزان، به مقدار ۷۸/۵۸٪ افزایش یافته است.

- در حالت مقایسه‌ی سختی برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪، کمترین مقدار سختی مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۱۵ درجه و آرماتور قطری به مقدار ۱۷۴۶/۵۶ کیلونیوتن بر سانتی‌متر و بیشترین مقدار سختی مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۹۰ درجه و آرماتور قطری به مقدار ۲۲۴۸/۷۲ کیلونیوتن بر سانتی‌متر بوده است، که نسبت به کمترین میزان، به مقدار ۲۸/۷۵٪ افزایش یافته است.

- در حالت مقایسه‌ی ظرفیت باربری برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش مختلف آرماتور تحت بار دررفت ۲٪، کمترین مقدار ظرفیت باربری مربوط به مدل دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۹۰ درجه به مقدار ۱۵۹۶/۹۶ کیلونیوتن و بیشترین مقدار ظرفیت باربری مربوط به دیوار با آرماتور با زاویه‌ی ۵۵ درجه به مقدار ۱۷۱۹/۸۶ کیلونیوتن بوده است، که نسبت به کمترین میزان، به مقدار ۷/۶۹٪ افزایش یافته است.

- در پاسخ جابجایی- زمان تحت شتاب‌نگاشت‌های مختلف برای مدل‌های دیوار برشی بتنی کوتاه با آرایش مختلف آرماتور تحت نیروی زلزله، پاسخ جابجایی با در نظر گرفتن آرایش‌های مختلف آرماتور نزدیک به هم بوده و در حالت‌های مختلف، اختلاف اندکی با یکدیگر داشته‌اند.

- در پاسخ جابجایی- زمان تحت شتاب‌نگاشت‌های مختلف برای مدل‌های دیوار برشی بتنی بلند با آرایش‌های مختلف آرماتور تحت نیروی زلزله، پاسخ جابجایی با در نظر گرفتن آرایش‌های مختلف آرماتور نزدیک به هم بوده و حالت‌های مختلف، اختلاف اندکی با یکدیگر داشته و نسبت به دیوار برشی کوتاه، مقدار پاسخ جابجایی در دیوار بلند افزایش یافته است.

- در حالت مقایسه‌ی تنش برای دیوارهای کوتاه با زاویه‌های آرماتور ۱۵، ۴۵، ۹۰ و ۹۰ درجه تحت بار دررفت ۱٪ ملاحظه شده است که با افزایش زاویه‌ی آرماتور، مقدار تنش در دیوار، ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است. در حالت کانتور تنش برای دیوارهای کوتاه با زاویه‌های آرماتور ۱۵، ۴۵، ۹۰ و ۹۰ درجه تحت بار دررفت ۲٪ ملاحظه می‌شود که با افزایش زاویه‌ی آرماتور، مقدار تنش در دیوار افزایش یافته است.

- در حالت مقایسه‌ی تنش برای دیوارهای بلند با زاویه‌های آرماتور ۱۵، ۴۵، ۹۰ و ۹۰ درجه تحت بار دررفت ۲٪ ملاحظه می‌شود که با افزایش زاویه‌ی آرماتور، مقدار تنش در دیوار، ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است. در حالت کانتور تنش برای دیوارهای بلند با زاویه‌های آرماتور ۱۵، ۴۵، ۹۰ و ۹۰ درجه تحت بار دررفت ۲٪ ملاحظه می‌شود که با افزایش زاویه‌ی آرماتور، مقدار تنش در دیوار افزایش یافته است.

References- منابع

1. Raongjant, W. and Jing, M., 2009. The effects of diagonal web reinforcement on cyclic behaviour of lightweight structural walls. *Structural Concrete*, 10(1), pp. 35-43. doi.org/10.1680/stco.2009.10.1.35.
2. Nguyen, N.H. and Whittaker, A.S., 2017. Numerical modelling of steel-plate concrete composite shear walls. *Engineering structures*, 150, pp. 1-11. doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.06.030.
3. Rezapour, M. and Ghassemieh, M., 2018. Macroscopic modelling of coupled concrete shear wall. *Engineering Structures*, 169, pp. 37-54. doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.04.088.
4. Soares, M.M., Palermo, D. and Cortés-Puentes, W.L., 2021. Modelling of mid-rise concrete shear walls reinforced with superelastic shape memory alloys: Nonlinear analysis. *Engineering Structures*, 247, 113049. doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113049.
5. Zhang, J., Zhang, M., Liu, X., Tao, X. and Cao, W., 2022. Experiment and numerical analysis on seismic performance of resilient shear walls using high strength recycled aggregate concrete. *Journal of Building Engineering*, 52, 104477. doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104477.
6. Miao, L., Jin, L., Li, D., Du, X. and Zhang, B., 2022. Effect of shear-span ratio and vertical reinforcement ratio on the failure of geometrical-similar RC shear walls. *Engineering Failure Analysis*, 139, 106407. doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106407.
7. Cheng, X., Ji, X., Xu, Z., Gao, S. and Xu, L., 2022. Seismic behavior of slender prestressed reinforced concrete short-leg walls. *Journal of Building Engineering*, 56, 104710. doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104710.
8. Cheng, Y., He, H., Sun, H. and Cheng, S., 2023. Experimental study and mechanism analysis of out-of-plane seismic performance of reinforced concrete shear walls. *Journal of Building Engineering*, 80, 108058. doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.108058.
9. Ghaseminia, S.M., Zahra, T., Thambiratnam, D.P. and Thamboo, J., 2023, October. Response of RC shear walls with single and double layers of reinforcements subjected to in-plane cyclic loading. In *Structures*. 56, 105005. Elsevier. doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105005.