

Effective criteria in the seismic performance of squat shear walls

Parisa Sartaji*¹

1- Assistant Professor, dept. of civil engineering, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Iran

ABSTRACT

Squat walls are very common in low-rise construction and at lower levels of tall buildings (e.g., parking level walls or basement walls). They can be also found in long walls with perforations due to window and door openings, resulting in wall segments between openings. They show significant amount of shear deformation as compared to bending deformation. Shear strength usually governs the design of such walls. In the modeling of these walls, these elements are modeled as members with bending behavior, while squat shear walls have shear behavior, and paying attention to the bending and shear interaction in these walls, increases the modeling accuracy. In this research, while considering the interaction of bending and shear behavior in the modeling of squat shear walls, the effect of various factors in the behavior of these walls was investigated such as wall aspect ratio, axial load, vertical and horizontal reinforcement ratio, boundary elements effect, reinforcement concentration in the boundary element. In this study finite element software Opensees and nonlinear static analysis method are used. The results of the investigation show that decreasing the wall aspect ratio, the shear strength and stiffness of the wall increase, but its ductility decreases. The presence of axial load and boundary elements increases the shear strength and the percentage of energy absorption. The concentration of reinforcement in the boundary element increases the shear strength, the yield surface and the percentage of energy absorption. In general, by predicting the appropriate conditions of the wall, including the appropriate aspect ratio and the sufficient percentage of the reinforcement and predicting the boundary elements, it is possible to increase the ductility, stiffness and shear resistance of these walls.

ARTICLE INFO

Receive Date: 04 October 2024
Revise Date: 05 December 2024
Accept Date: 13 December 2024

Keywords:

Squat shear wall,
bending and shear
interaction, nonlinear static
analysis,
finite element,
boundary element

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: [10.22065/jsce.2024.478836.3524](https://doi.org/10.22065/jsce.2024.478836.3524)

*Corresponding author: Parisa Sartaji
Email address: p_sartaji@iau.ac.ir

پارامترهای تاثیرگذار در عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی کوتاه

پریسا سرتاجی*

۱- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران

چکیده

دیوارهای برشی بتنی مسلح کوتاه با نسبت ارتفاع به عرض کمتر از ۲، در ساختمان‌های کوتاه مرتبه یا در طبقات پایین ساختمان‌های بلند یا در نیروگاه‌های هسته‌ای رایج هستند، این دیوارها ممکن است در دیوارهای طویل به واسطه بازشوهای در و پنجره، در بخش‌هایی از دیوار مابین بازشوها بوجود آیند. این نوع دیوارها به مقدار زیادی تغییر شکل برشی در مقایسه با تغییر شکل خمشی از خود نشان می‌دهند و در طراحی این دیوارها معمولاً مقاومت برشی حاکم است. در مدل‌سازی این دیوارها، این عناصر بصورت اعضایی با رفتار خمشی مدل‌سازی شده است در حالی که دیوارهای برشی کوتاه دارای رفتار برشی می‌باشند و توجه به اندرکنش رفتار خمشی و برشی در این دیوارها باعث افزایش دقت مدل‌سازی می‌شود. در این تحقیق، ضمن منظور نمودن اندرکنش رفتار خمشی و برشی در رفتار دیوارهای برشی کوتاه، اثر عوامل مختلف از جمله، نسبت ابعادی دیوار، اثر بار محوری، میزان تراکم آرماتور قائم و افقی، وجود المان‌های مرزی و تمرکز آرماتور در المان مرزی در رفتار این دیوارها مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله از نرم افزار اجزای محدود اپنسیس و روش تحلیل استاتیکی غیرخطی استفاده شده است. نتایج حاصل از بررسی نشان می‌دهد که با کاهش ارتفاع به طول دیوار مقاومت برشی و سختی دیوار افزایش ولی شکل‌پذیری آن کاهش می‌یابد. وجود بار محوری و المانهای مرزی باعث افزایش مقاومت برشی و درصد جذب انرژی می‌شود. تمرکز آرماتور در المان مرزی باعث افزایش سطح مقاومت برشی دیوار، افزایش سطح تسلیم و درصد جذب انرژی می‌شود. بطور کلی می‌توان با پیش بینی شرایط مناسبی از دیوار از جمله نسبت ابعادی مناسب، درصد آرماتور کافی و پیش بینی المان مرزی، شکل‌پذیری، سختی و مقاومت برشی این دیوارها را افزایش داد.

کلمات کلیدی: دیوار برشی کوتاه، اندرکنش خمشی و برش، تحلیل استاتیکی غیرخطی، اجزای محدود، المان مرزی.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
doi:	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
10.22065/jsce.2024.478836.3524	۱۴۰۴/۰۱/۳۱	۱۴۰۳/۰۹/۲۳	۱۴۰۳/۰۹/۲۳	۱۴۰۳/۰۹/۱۵	۱۴۰۳/۰۷/۱۳
https://doi.org/10.22065/jsce.2024.478836.3524	پریسا سرتاجی		*نویسنده مسئول:		
	p_sartaji@iau.ac.ir		پست الکترونیکی:		

۱- مقدمه

دیوارهای برشی یک وسیله اقتصادی برای مقابله با بارهای جانبی در ساختمان‌های بلند است. دیوارهای برشی بتن مسلح در ساختمان‌ها برای مقاومت در برابر بارهای جانبی ناشی از باد یا زمین لرزه استفاده می‌شوند. آنها به سیستم سختی جانبی اضافه نموده و بارهای ثقلی را حمل می‌نمایند. سیستم با دیوار برشی در یک سازه قابی، عملکرد لرزه‌ای آن را به طور ویژه‌ای فراهم می‌آورد. مطالعات زلزله‌های گذشته و مقایسه بین رفتار سازه قابی و سازه قاب با دیوار برشی گواه این مسئله است. با توجه به نسبت ارتفاع به طول، دیوارهای برشی ممکن است به عنوان یک دیوار بلند، یا یک دیوار کوتاه رفتار کنند. دیوارهای برشی بلند دارای نسبت ارتفاع به طول بزرگتر از ۲ و دیوارهای برشی کوتاه دارای نسبت ارتفاع به طول کمتر از ۲ می‌باشند. دیوارهای برشی کوتاه بیشتر در ساختمان‌های کوتاه مرتبه یا در سطوح پایینی ساختمان‌های بلند (دیوارهای سطح پارکینگ یا دیوارهای زیرزمین) رایج هستند. همچنین در دیوارهای طویل به واسطه بازشوها در و پنجره، در بخش‌هایی از دیوار مابین بازشوها بوجود می‌آید. این دیوارها به مقدار زیادی تغییر شکل برشی در مقایسه با تغییر شکل خمشی از خود نشان می‌دهند. محققین مختلفی به صورت آزمایشگاهی و یا مدل‌سازی به بررسی رفتار دیوارهای برشی کوتاه پرداخته‌اند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

غنی زاده و همکاران [۱] به بررسی اثر آرایش میلگرد بر عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی کوتاه پرداخته‌اند. در این مقاله رفتار دیوارهای برشی کوتاه بتن آرمه، به کمک برنامه اجزای محدود غیرخطی ATENA 3D مورد بررسی قرار گرفته و ضمن ارزیابی نوع گسیختگی، مقاومت برشی نهایی و مقاومت پسماند، تاثیر پارامترهایی نظیر تمرکز میلگردهای طولی و عرضی در لبه دیوار، استفاده از میلگردهای قطری و تغییر فواصل میلگردهای افقی و قائم، بر روی رفتار دیوارهای برشی کوتاه مطالعه شده است. نتایج حاصل از بررسی نشان داده است که برخلاف دیوارهای بلند، تمرکز میلگردها در لبه دیوار راه حل مناسبی برای افزایش شکل پذیری نمی‌باشد.

غنی‌زاده و همکاران [۲] به "بررسی تاثیر بار محوری و مشخصات مصالح بر عملکرد لرزه‌ای دیوار برشی کوتاه" پرداخته‌اند. در این مقاله رفتار دیوار برشی کوتاه با کمک برنامه اجزای محدود ATENA 3D مورد تحلیل قرار گرفته و به بررسی نوع گسیختگی، مقاومت برشی نهایی، مقاومت پسماند و اثر عواملی چون بار محوری و مشخصات مصالح بر رفتار دیوارهای برشی کوتاه پرداخته‌اند. نتایج حاصل از بررسی نشان داده است که بار محوری اثر قابل توجهی بر رفتار شکل‌پذیر دیوارهای برشی کوتاه و مد گسیختگی آنها دارد.

غنی زاده و دیگران [۳] به بررسی پارامترهای تاثیر گذار بر عملکرد دیوارهای برشی کوتاه بتن آرمه با در نظر گرفتن اندرکنش خاک سازه پرداخته‌اند. در این مطالعه اثر انعطاف پذیری بستر، طول و شکل فونداسیون، میزان عمق مدفون، تأثیر پارامترهای خاک بر شکل پذیری مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت نشان داده شده است که می‌توان با استفاده از شکل و طول مناسبی از فونداسیون و به حساب آوردن اثر انعطاف پذیری بستر، شکل پذیری و مقاومت این دیوارها را افزایش داد.

آل بیاتی^۱ [۴] به بررسی مقاومت برشی دیوار برشی مسلح کوتاه پرداخته است. در این تحقیق با استفاده از شبکه عصبی و پایگاه داده گسترده تجربی که شامل نتایج ۴۸۷ دیوار بوده به پیش‌بینی حداکثر مقاومت برشی دیوارهای برشی کوتاه پرداخته‌اند. در این بررسی تأثیر مقاومت بتن، نسبت ابعادی دیوار، اثر آرماتورهای عمودی و افقی، اثر آرماتورهای عمودی در اعضای مرزی و نسبت بار محوری بر مقاومت برشی حداکثر مورد بررسی قرار گرفته است.

جین^۲ و همکاران [۵] به مطالعه تجربی و مدل‌سازی اجزای محدود دیوارهای برشی کوتاه تحت ترکیب بارهای چرخه ای و بارهای محوری زیاد پرداخته‌اند. تأثیر نسبت بار محوری زیاد بر مد شکست، رفتار هیسترتیک، شکل‌پذیری جابجایی، مقاومت برشی و سختی دیوارهای برشی کوتاه بررسی شده است. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که بار محوری زیاد، رشد ترک‌ها را مهار می‌کند و ظرفیت بار برشی را بهبود می‌بخشد، ولی شکل‌پذیری و اتلاف انرژی را کاهش می‌دهد و زوال سختی را تشدید می‌کند. هنگامی که مقدار بار محوری اعمالی کم بوده، آرماتورهای عمودی و افقی تقریباً سهم یکسانی در ظرفیت برشی دیوار داشته‌اند.

¹ Al-Bayati

² Jin

سیواقورو وی^۳ [۶]، به مطالعه رفتار دیوارهای برشی کوتاه با و بدون بازشو پرداخته است. در این کار ۱۶ رابطه ارائه شده در آیین‌نامه‌های ساختمانی برای محاسبه مقاومت برشی دیوارها با استفاده از نتایج آزمایش بررسی و نزدیکترین رابطه به نتایج آزمایش، معرفی شده است. عوامل تاثیر گذار بر مقاومت برشی دیوارهای برشی، مانند اثر آرماتورهای عمودی و افقی، بار محوری و اثر المانهای مرزی، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از بررسی نشان داده است که مقاومت برشی، زوال مقاومت برشی، سختی جانبی، ضریب شکل پذیری و ظرفیت اتلاف انرژی دیوارهای برشی به طور قابل توجهی تحت تاثیر بازشوها قرار دارد. البته پارامترها فوق در دیوارهای برشی کوتاه با توزیع تصادفی الیاف در بتن به همراه آرماتورهای تقویت کننده در نواحی گوشه‌های بازشوها، به طور قابل توجهی، بهبود یافته‌اند.

جاو^۴ و همکاران [۷] به بررسی آزمایشگاهی دیوار برشی بتنی کوتاه و دیوار برشی بتنی کوتاه مسلح با ورق فولادی پرداخته‌اند. در این مطالعه ظرفیت باربری و تغییرشکل دیوارهای فوق مورد بررسی قرار گرفته است. پارامترهای مورد بررسی شامل نسبت نیروی محوری فشاری، ضخامت ورق های فولادی و روش های بارگذاری بوده است. نتایج حاصل از بررسی نشان داده است که ظرفیت باربری دیوارهای دارای ورق فولادی با ضخامت ۲ میلی‌متر و ۴ میلی‌متر به ترتیب ۱۳ و ۴۰ درصد افزایش داشته است، در صورتیکه شکل پذیری این دیوارها به دلیل شکست ناگهانی در جوشکاری به ترتیب ۲۹ و ۴ درصد کاهش یافته است. ظرفیت باربری نمونه‌های دارای بار نامتقارن کمی کمتر از نمونه‌های با بار متقارن بوده در حالیکه شکل پذیری نمونه‌های با بار نامتقارن تقریباً ۱۵ درصد بیشتر از نمونه‌های با بارگذاری متقارن بوده است. در نهایت، روابطی برای محاسبه ظرفیت باربری دیوار برشی کوتاه مسلح با ورق فولادی بر اساس داده های تجربی ارائه شده است.

آدرنو-بنیلا و ویدات-وقا^۵ [۸] به ارزیابی مقاومت برشی دیوارهای برشی کوتاه تحت بارهای چرخه‌ای بر اساس نتایج آزمایش‌های تجربی پرداخته‌اند. در این کار پارامترهای کلیدی موثر بر حداکثر مقاومت برشی شناسایی و معادلات پیش‌بینی مقاومت برشی بهبود و توسعه داده شده است. نتایج حاصل از بررسی نشان داده است که روابط مناسبی در آیین نامه فعلی برای محاسبه مقاومت برشی حداکثر این دیوارها به دلیل پراکندگی پاسخ‌ها ارائه نشده است. در این مقاله روابط اصلاح شده‌ای جهت طراحی و ارزیابی سازه‌های دارای دیوار برشی کوتاه ارائه شده است.

قاسم پاچیده و همکاران [۹] یک مدل ساده شده جدید برای پیش بینی پاسخ الاستیک و غیرالاستیک دیوارهای برشی فولادی تحت عنوان مدل سه لایه^۶ ارائه کرده‌اند. در این مدل صفحات پرکننده دیوارهای برشی فولادی با سه نوار کششی مدل سازی شده است. منحنی های پوش آور مدل پیشنهادی با نتایج آزمایشات تجربی مقایسه و نتایج قابل قبولی ارائه شده است. در ادامه تأثیر نسبت ابعادی دیوار و انعطاف پذیری ستون مرزی بر دقت رفتار غیرکشسان مدل سه لایه بررسی شده است. نتایج حاصل از بررسی نشان داده است که تغییر نسبت ابعادی دیوار و انعطاف پذیری ستون مرزی تأثیر قابل توجهی بر دقت نتایج نداشته و استفاده از مدل سه لایه حجم کار مدل سازی و هزینه محاسباتی را کاهش داده است.

قلهکی و همکاران [۱۰] طیف ظرفیت ساختمان‌های دارای دیوارهای برشی فولادی با استفاده از روش پوش آور و روش انرژی را بدون نیاز به محاسبه نقطه هدف تهیه نموده‌اند. در این مطالعه قاب فولادی با تعداد طبقات مختلف و دارای دیوار برشی فولادی به عنوان سیستم مقاوم در برابر بار جانبی به صورت عددی مدل سازی و طیف ظرفیت جابجایی با استفاده از دو روش انرژی، بدون نیاز به در نظر گرفتن نقطه هدف تهیه شده است. نتایج نشان داده است که طیف‌های ظرفیت جابجایی تهیه شده با استفاده از روش‌های انرژی، سازگاری خوبی با یکدیگر دارند. همچنین نتایج حاصل از بررسی نشان داده است که طیف ظرفیت جابجایی که مرکز جرم سقف به عنوان نقطه هدف در نظر گرفته نشده است، تطابق قابل قبولی با طیف ظرفیت جابجایی با نقطه هدف دارد.

قلهکی و همکاران [۱۱] تاثیر اندازه زیرپانل در ضریب رفتار سیستم دارای دیوار برشی فولادی دارای سخت کننده را بررسی کرده‌اند. با توجه به اینکه استفاده از صفحات سخت کننده باعث تغییر رفتار سیستم بویژه در ناحیه غیرخطی می‌شود، در این مقاله با

³ Sivaguru V

⁴ Gao

⁵ Adorno-Bonilla , Vidot-Vega

⁶ three-strip model

استفاده از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی یکنواخت، پنج مورد دیوار برشی فولادی (یک مورد بدون سخت کننده و چهار مورد با سخت کننده) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از بررسی نشان داده است که با کاهش اندازه پانل‌های فرعی، ویژگی‌های غیرخطی سیستم‌های دیوار برشی فولادی به میزان قابل توجهی بهبود یافته است. همچنین در این کار روابطی برای ارزیابی رفتارهای غیرخطی چنین سیستم‌هایی ارائه شده است.

قلهکی و همکاران [۱۲] مشخصات ضریب اصلاح پاسخ سیستم دارای دیوار برشی فولادی با استفاده از آنالیز غیرخطی فزاینده را بررسی کرده‌اند. در این مقاله ضریب اضافه مقاومت، ضریب شکل‌پذیری و ضریب رفتار این سیستم‌ها تحلیل شده است. برای این منظور از قاب‌های ۷، ۱۵ و ۳۰ طبقه و دارای یک یا دو دهانه دیوار برشی فولادی و از تحلیل استاتیکی غیرخطی، دینامیکی خطی یا دینامیکی فزاینده استفاده شده است. نتایج حاصل از بررسی نشان داده که ضریب رفتار برای این سیستم‌ها در ساختمان‌های بلند ۸ و در ساختمانهای کوتاه و متوسط حدود ۹ منظور شود.

اشرفی و همکاران [۱۳] به بررسی تاثیر نحوه قرارگیری ورق و تغییرات خصوصیات امواج بر رفتار دیوار برشی فولادی موجدار پرداخته‌اند. در این تحقیق نحوه قرارگیری ورق فولادی و تأثیر پارامترهای هندسی شامل طول موج و عمق موج بر ظرفیت برشی نهایی دیوار برشی فولادی ارزیابی شده است. برای این منظور از نرم افزار المان محدود ABAQUS استفاده شده است و مشاهده شده است که ظرفیت دیوار برشی فولادی در صورت همسو شدن امواج با تیرها افزایش یافته است و با کاهش طول موج و افزایش عمق موج، مقاومت دیوار برشی فولادی افزایش یافته است.

در بیشتر مطالعات گذشته، در مدل‌سازی دیوارهای برشی کوتاه، این عناصر بصورت اعضایی با رفتار خمشی مدل‌سازی شده است در حالی که دیوارهای برشی کوتاه دارای رفتار برشی می‌باشند و توجه به اندرکنش رفتار خمشی و برشی در این دیوارها باعث افزایش دقت مدل‌سازی می‌شود. در این تحقیق، ضمن منظور نمودن اندرکنش رفتار خمشی و برشی در رفتار دیوارهای برشی کوتاه، به بررسی اثر عوامل مختلف بر بهبود رفتار دیوارهای برشی کوتاه از جمله، نسبت ابعادی دیوار، وجود بار محوری، میزان تراکم آرماتور قائم و افقی، وجود المان‌های مرزی و تمرکز آرماتور در المان‌های مرزی پرداخته شده است. مراحل انجام کار:

۱- مطالعه پیشینه تحقیق در خصوص نحوه مدل‌سازی و مطالعه آزمایشگاهی رفتار دیوارهای برشی کوتاه

۲- ارائه روش مدل‌سازی دیوار برشی کوتاه با لحاظ اندرکنش رفتار خمشی و برشی

۳- دقت سنجی روش مدل‌سازی با نتایج آزمایشات تجربی

۴- بررسی و انتخاب پارامترهای موثر در رفتار دیوارهای برشی کوتاه

۵- تغییر پارامترهای موثر در رفتار دیوارهای برشی کوتاه و تهیه نمودارهای مربوطه

۶- تحلیل نمودارها و ارائه نتیجه گیری

۲- روش تحقیق

در این تحقیق تاثیر پارامترهای مختلف بر بهبود رفتار لرزه‌ای دیوارهای برشی کوتاه مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور مدل‌سازی دیوار برشی از نرم افزار اجزای محدود اپنسیس [۱۴] استفاده شده است. در ابتدا روش مدل‌سازی با استفاده از نتایج آزمایشات انجام شده توسط کوانگ^۷ و هو^۸ [۱۵] دقت سنجی شده است. با توجه به اینکه دیوارهای برشی کوتاه هیچ تفاوت مهمی در رفتار تحت بارگذاری یکنواخت و بارگذاری چرخه‌ای رفت و برگشتی نشان نمی‌دهند، این مسئله به علت تشکیل عضو فشاری قطری است که کاهش

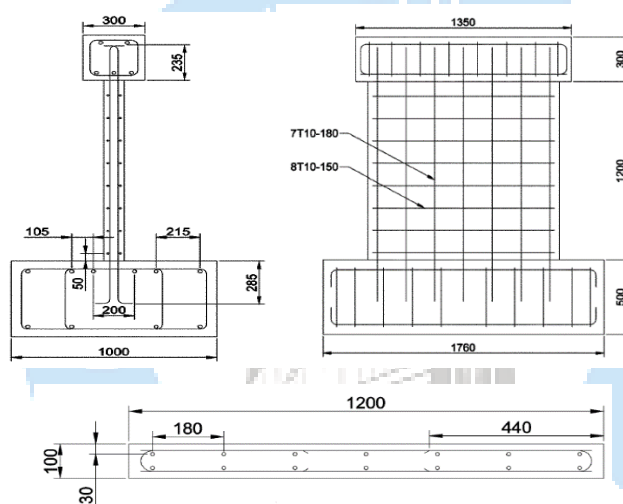
⁷ Kuang

⁸ Ho

محسوسی در سختی برشی تحت بارهای رفت و برگشتی رخ نمی‌دهد [۱۶]. در این تحقیق از تحلیل‌های استاتیکی یکنواخت به منظور ارزیابی رفتار لرزه‌ای این دیوارها، استفاده شده است. در این تحقیق با تغییر پارامترهایی نظیر نسبت ابعادی دیوارهای برشی کوتاه، درصد آرماتور قائم موجود در دیوار، آرماتور برشی افقی، میزان بار محوری اعمالی، اثر وجود یا عدم وجود المان‌های مرزی و تمرکز آرماتور در المان‌های مرزی، رفتار لرزه‌ای دیوارها مورد بررسی قرار گرفته است و پارامترهای مختلف رفتار لرزه‌ای سازه‌ها از قبیل میزان تغییر مکان جانبی، سختی، شکل پذیری، میزان جذب انرژی و ... ارزیابی شده است.

۳- نمونه دیوار برشی کوتاه مورد بررسی

نمونه‌های مورد بررسی نمونه U1 و U1.5 از آزمایشات کونگ و هو [۱۵] است. مشخصات و جزئیات نمونه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. نمونه‌ها دارای سطح مقطع مستطیلی به ابعاد 1200 x 100 mm می‌باشند. ارتفاع نمونه U1، 1200 mm می‌باشد و ارتفاع نمونه U1.5، 1800 mm می‌باشد. بنابراین نمونه‌ها دارای نسبت ارتفاع به طول به ترتیب ۱ و ۱/۵ می‌باشند. مقاومت فشاری بتن در نمونه U1، 30.4 MPa و در نمونه U1.5، 34.9 MPa و مقاومت تسلیم فولاد در تمام نمونه‌ها 520 MPa می‌باشد. سطح مقطع، ابعاد و جزئیات آرماتورگذاری نمونه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.

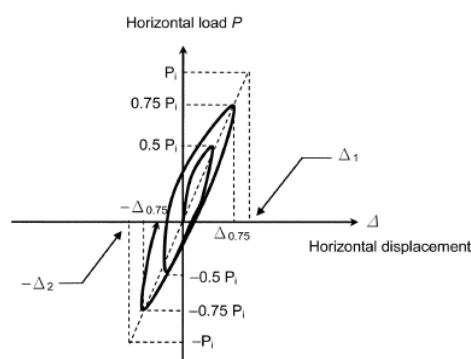


شکل ۱: سطح مقطع، ابعاد و جزئیات آرماتورگذاری نمونه U1 و U1.5 [۱۵]

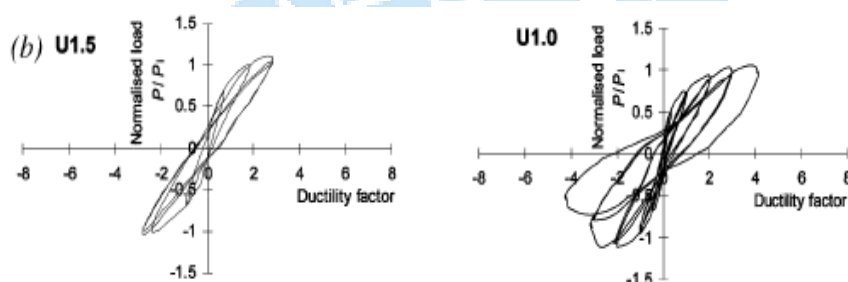
جدول ۱: مشخصات نمونه‌ها [۱۵]

نمونه	نسبت ارتفاع به طول	محصورشدگی عضوهای مرزی	f'_c بتن MPa	آرماتور طولی ρ_s %	آرماتور عرضی ρ_v %
U1.0	۱	ندارد	۳۰/۴	۰/۹۲	۱/۰۵
U1.5	۱/۵	ندارد	۳۴/۹	۰/۹۲	۱/۰۵

در این آزمایش نمونه‌ها بر روی کف صلب نصب شده‌اند. بار قائم در ابتدا بر تیر بالای دیوار بوسیله جک هیدرولیکی وارد می‌شود. بار جانبی بصورت رفت و برگشتی به وسیله یک محرک کمکی بر تیر بالای دیوار وارد شده است. یک چرخه بارگذاری افقی تا $\pm 0.5P_i$ و سپس تا $\pm 0.75P_i$ اعمال شده است (شکل ۲). در شکل ۳ حلقه های هیستریک نمونه های U1 و U1.5 نشان داده شده است.



شکل ۲: تاریخچه بارگذاری اعمالی [۱۵]



شکل ۳: حلقه هیستریک نمونه U1 و نمونه U1.5 [۱۵]

۴- مدل سازی دیوار برشی کوتاه

روش‌های مختلفی برای مدل سازی دیوار برشی در نرم افزار اپنسیس [۱۴] موجود است. از آن جمله، می‌توان به انواع مختلف عضوهای تیر-ستون برای مدل سازی دیوارهای برشی بتن مسلح اشاره نمود. در مدل سازی با عضوهای تیر-ستون، دیوار برشی بصورت یک ستون معادل، با اختصاص مختصات گره ابتدا و انتها، مدل سازی می‌شود. برای مقطع دیوار برشی، مقطع فایبر تعریف می‌شود که مش بندی مقطع فایبر با تعریف تعداد تقسیمات در دو امتداد (در زمان تعریف مقطع) صورت می‌گیرد و مش بندی در امتداد ارتفاع دیوار برشی با تعریف تعداد نقاط انتگرال گیری صورت می‌گیرد.

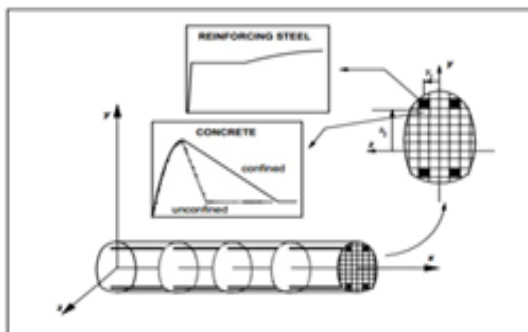
از میان روش‌های مختلف مدل سازی دیوار برشی بتن مسلح در نرم افزار اپنسیس "عضو تیر-ستون با فرمول بندی بر اساس تغییر مکان"^۹ و "عضو تیر-ستون با فرمول بندی بر اساس تغییر مکان و لحاظ اندرکنش خمش و برش"^{۱۰} که رایج تر می‌باشند معرفی و در ادامه به بررسی و راستی آزمایی این اعضا، پرداخته می‌شود. عمومی ترین روش برای معرفی اعضا دیوار برشی و اجزای قاب، در تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی "عضو تیر-ستون با فرمول بندی بر اساس تغییر مکان" است که توسط تاوسر^{۱۱} و همکاران [۱۷] توسعه یافته است. در این عضو، مقطع به تعدادی الیاف بتنی و فولادی تقسیم بندی می‌شود و قوانین تنش-کرنش تک محوری استفاده می‌شود تا پاسخ مواد را در امتداد طولی (موازی با محور عضو) بدست آورد (شکل ۴). این مدل قادر به نشان دادن تسلیم مواد (رفتار الاستو پلاستیک) و کرنش سخت

⁹ Displacement Based Beam-Column Element

¹⁰ Flexure shear interaction displacement based beam-column element

¹¹ Taucer

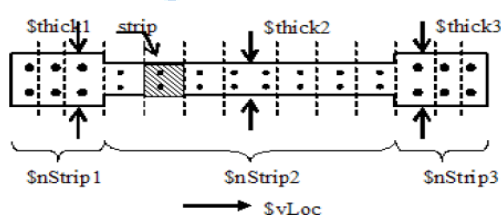
شونده (رفتار الاستیک) بوده و غیرخطی بودن این مدل بطور یکنواخت در تمام طول عضو نشان داده می‌شود. همچنین مدل قادر به نشان دادن کاهش سختی و مقاومت عضو تحت بارگذاری چرخه ای و رفتار هیستریک عضو با اختصاص مدل‌های پسماند می‌باشد. در این روش تغییر شکل‌های برشی در مقطع قابل تعیین نبوده و اندرکنش پاسخ خمشی و برشی در فرمول‌بندی مقطع الیافی منظور نمی‌شود [۱۷].



شکل ۴: عضو تیر-ستون با مقطع الیافی [۱۷]

به منظور وارد کردن اندرکنش خمش-برش مشاهده شده در آزمایشات تجربی، اراکال و همکاران [۱۸] یک مدل تحلیلی پیشنهاد کردند که رفتار پانل بتنی مسلح مبتنی بر رویکرد چرخش-دوران را با مدل عضو چندخطی قائم^{۱۲} (MVLEM) ترکیب می‌کند. مدل اندرکنش خمش-برش شامل اصلاح مدل MVLEM با قرار دادن یک فنر برشی برای هر عضو تک محوری است. پس از آن هر عضو تک محوری به عنوان یک عضو پانل بتنی مسلح، با عملکرد غشایی، با تنش‌های عمودی و برشی یکنواخت که در امتداد داخل صفحه وارد می‌شوند، رفتار می‌کند. به این ترتیب اندرکنش مابین خمش و برش در سطح عضو تک محوری ترکیب می‌شود. این روش شامل اجرای روش اجزای محدود با یک مدل مشخصه بتن مسلح غشایی است [۱۸].

اگرچه مدل‌های مصالح می‌توانند دارای رفتار چرخه‌ای باشند، اما فرمول‌بندی این مدل، برای تحلیل‌های استاتیکی یکنواخت تکمیل و راستی‌آزمایی شده است. معادلات سازگاری مربوط به تغییر مکان‌های گرهی (۶ درجه آزادی) و کرنش‌های داخلی (کرنش محوری، انحنا و کرنش برشی) تنها در یک صفحه دو بعدی تعریف شده است، بنابراین تحلیل سه بعدی با این عضو امکان پذیر نمی‌باشد. مقطع این عضو FiberInt^{۱۳} نامیده می‌شود که از تعدادی لایه تشکیل شده است و شامل الیاف‌های قائم برای نشان دادن مصالح بتن و فولاد و الیاف-های افقی برای نشان دادن آرماتور افقی، می‌باشد (شکل ۵) [۱۸].

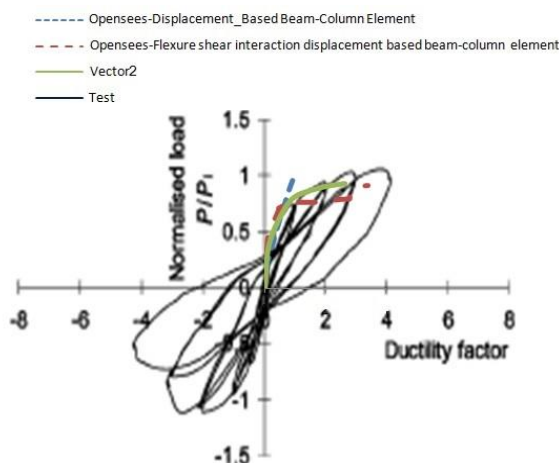


شکل ۵: مدل‌سازی مقطع "عضو تیر-ستون با فرمول‌بندی بر اساس تغییر مکان و لحاظ اندرکنش خمش-برش" [۱۸].

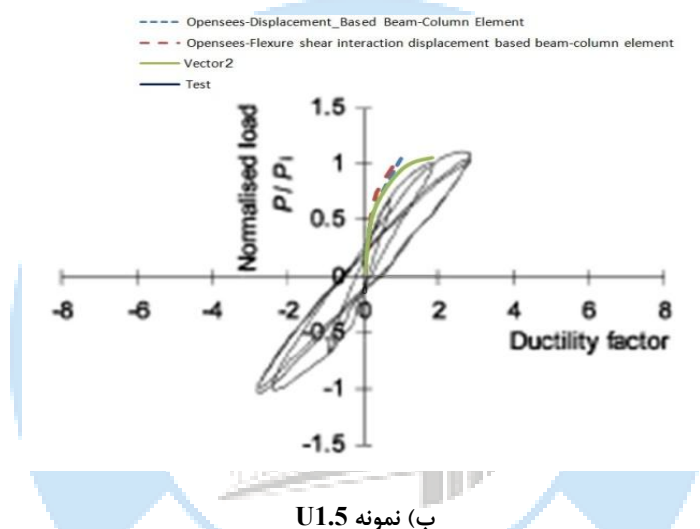
۵- دقت سنجی نرم افزار

به منظور دقت سنجی عضوهای معرفی شده در نرم افزار اپنسیس از نتایج آزمایشات انجام شده توسط کونگ و هو و نرم‌افزار اجزای محدود Vector2 استفاده شده است. نتایج مدل‌سازی و مقایسه برای نمونه U1 و نمونه U1.5 در شکل ۶ ارائه شده است.

¹² Multi Vertical Line Element Model



الف) نمونه U1



ب) نمونه U1.5

شکل ۶: نتایج دقت سنجی نرم افزار با نتایج آزمایشات کونگ و هو، نمودار برش پایه هم پایه شده P/P_i - ضریب شکل پذیری Δ/Δ_y

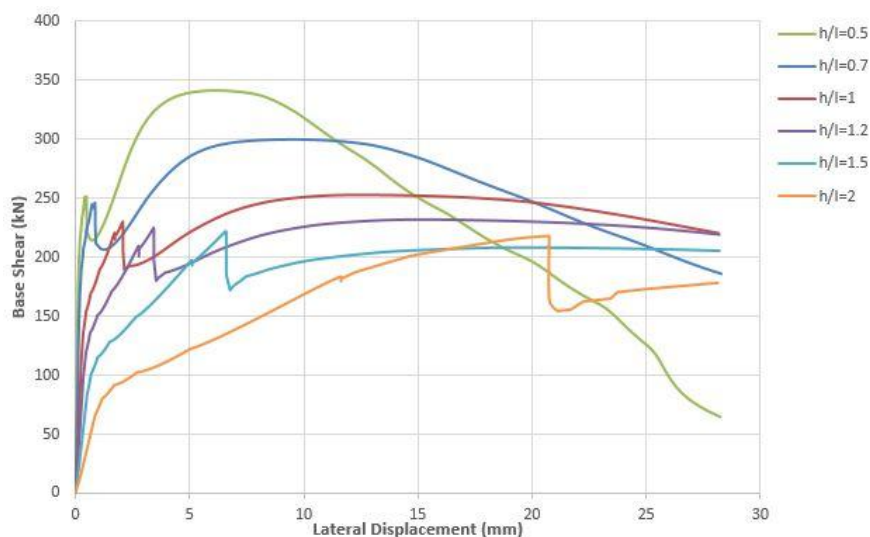
۶- بررسی پارامترهای تاثیرگذار بر رفتار دیوارهای برشی کوتاه

در این بخش ضمن منظور نمودن اندرکنش رفتار خمشی و برشی در رفتار دیوارهای برشی کوتاه و استفاده از "عضو تیر-ستون با فرمول بندی بر اساس تغییرمکان و لحاظ اندرکنش خمش-برش" به بررسی پارامترهای مختلفی که بر پاسخ لرزه‌ای دیوارهای برشی کوتاه تاثیر دارند، پرداخته شده است. موارد مورد بررسی عبارتند از: نسبت ارتفاع به طول دیوار، وجود نیروی محوری فشاری، درصد آرماتور قائم موجود در دیوار، آرماتور برشی افقی، وجود المان‌های مرزی، اثر تمرکز آرماتور در المان‌های مرزی. در ابتدای بارگذاری، وزن قطعات به صورت بار محوری اعمال شده است و در ادامه بار جانبی به صورت کنترل تغییر مکان افزایشنده در مرکز دال فوقانی، به سازه اعمال شده است.

۶-۱ نسبت ارتفاع به طول دیوار

در ابتدا، اثر تغییر نسبت ارتفاع به طول دیوار، مورد بررسی قرار گرفته است. در نمونه دیوار مورد بررسی، نسبت ارتفاع به طول $0/5$ و $0/7$ و 1 و $1/2$ و $1/5$ و 2 لحاظ شده و نمودار نیرو-تغییرمکان دیوار برای حالت‌های مختلف در شکل ۷ ارائه شده است. نتایج حاصل از بررسی نشان می‌دهد که با کاهش نسبت ارتفاع به طول دیوار شکل پذیری کاهش پیدا می‌کند در حالی که سطح مقاومت برشی دیوار

افزایش پیدا می‌کند. از بین نمونه‌های مورد بررسی، مدلی که نسبت ارتفاع به طول برابر ۲ است رفتار شکل پذیرتری نسبت به سایر نمونه‌ها نشان می‌دهد، در حالیکه دیوار با نسبت ارتفاع به طول ۰/۵ دارای حداکثر مقاومت برشی می‌باشد، حداکثر مقاومت برشی این دیوار نسبت به دیوار با نسبت ارتفاع به طول برابر ۲، ۳۶ درصد بیشتر است. در بررسی شیب قسمت خطی نمودار مشاهده می‌شود با افزایش نسبت ارتفاع به طول نمونه‌ها شیب قسمت خطی نمودار (سختی اولیه عضو) کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر هر چه نسبت ارتفاع به طول دیوار کمتر باشد سختی اولیه دیوار بیشتر خواهد بود.



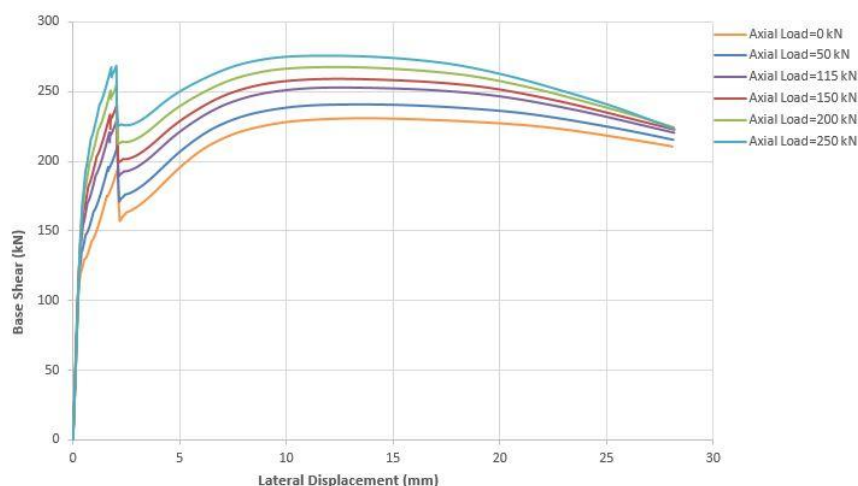
شکل ۷: نمودار نیرو-تغییر مکان دیوار برشی کوتاه با تغییر نسبت ارتفاع به طول دیوار

جدول ۲: تغییرات حداکثر برش پایه دیوار با تغییر نسبت ارتفاع به طول

h/l=2.0	h/l=1.5	h/l=1.2	h/l=1.0	h/l=0.7	h/l=0.5	نسبت ارتفاع به طول دیوار
۲۱۸/۰۵۵	۲۲۲	۲۳۱/۹۹۱	۲۵۲/۸۳۶	۲۹۹/۸۴۷	۳۴۱/۳۴۳	حداکثر برشی پایه (kN)

۶-۲ اثر بار محوری اعمالی

وجود نیروی محوری فشاری روی یک دیوار که بطور یکنواخت بارگذاری شده است باعث افزایش در ظرفیت مقاومت برشی دیوار برشی کوتاه می‌شود. در شکل ۸ اثر بار محوری بر رفتار دیوار برشی کوتاه نشان داده شده است. با افزایش میزان بار محوری اعمالی به دیوار سطح مقاومت برشی دیوار افزایش می‌یابد بطوریکه در حالت بدون وجود بار محوری کمترین میزان مقاومت برشی و در حالت اعمال بار محوری ۲۵۰ کیلونیوتن بیشترین مقاومت برشی مشاهده شده است، میزان این افزایش در مقاومت برشی به ۱۹/۴ درصد در بیشترین حالت نسبت به حالت بدون وجود بار محوری می‌رسد. در بررسی شیب قسمت خطی نمودار تغییری در حالت‌های اعمال بار محوری مشاهده نمی‌شود ولی افزایش در سطح زیر نمودار و درصد جذب انرژی رخ می‌دهد.



شکل ۸: نمودار نیرو-تغییر مکان دیوار برشی کوتاه تغییر میزان بار محوری اعمالی به دیوار

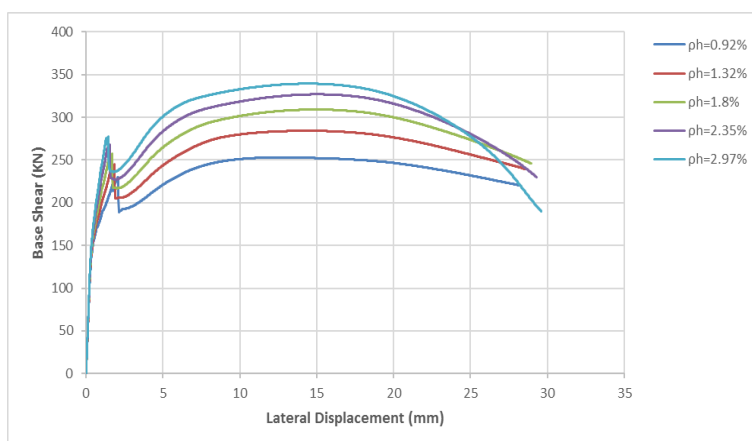
جدول ۳: درصد افزایش برش پایه با افزایش بار محوری اعمالی به دیوار

Axial Load=250 kN	Axial Load=200 kN	Axial Load=150 kN	Axial Load=115 kN	Axial Load=50 kN	Axial Load=0 kN	نیروی محوری اعمالی (kN)
۲۷۵/۷۷۶	۲۶۷/۶۶۹	۲۵۹/۱۸	۲۵۲/۹۳۸	۲۴۰/۸۱۵	۲۳۰/۹۰۲	حداکثر برشی پایه (kN)
% ۱۹/۴	% ۱۶	% ۱۲/۲۴	% ۸/۷	% ۴/۳	-	درصد افزایش برش پایه نسبت به حالت بدون بار محوری

۳-۶ اثر آرماتور قائم

درصد آرماتور قائم موجود در دیوار، ظرفیت خمشی و در نتیجه ماکزیمم نیروی برشی که دیوار می تواند تحمل کند، را تعیین می کند. ماکزیمم نیروی برشی که می تواند توسط دیوار تحمل شود بستگی به ظرفیت خمشی واقعی دیوار دارد که ممکن است به واسطه کرنش سخت شدگی آرماتور قائم به طور ویژه ای بزرگتر از ظرفیت خمشی طراحی باشد.

نمودار نیرو-تغییر مکان دیوار برای درصدهای مختلف آرماتور قائم در شکل ۹ ارائه شده است. افزایش درصد آرماتور قائم باعث افزایش سطح مقاومت برشی دیوار می شود، به طوری که به ازای افزایش ۲/۰۵ درصد نسبت آرماتور قائم، مقاومت برشی دیوار ۳۴ درصد افزایش یافته است. در جدول ۴ میزان افزایش مقاومت برشی دیوار به ازای افزایش درصد آرماتور قائم ارائه شده است. در ضمن افزایش درصد آرماتور قائم باعث افزایش سطح زیر نمودار و در نتیجه درصد جذب انرژی شده است ولی تغییری در شیب قسمت خطی نمودار مشاهده نمی شود.



شکل ۹: نمودار نیرو-تغییر مکان دیوار برشی کوتاه تغییر درصد آرماتور قائم

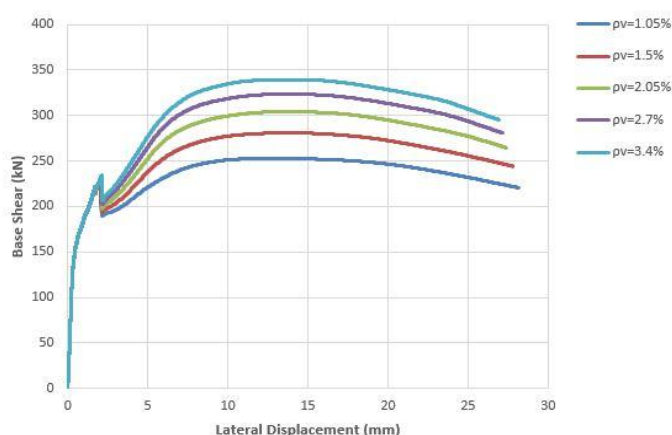
جدول ۴: درصد افزایش برش پایه با افزایش درصد آرماتور قائم

$\rho_h=2.97\%$	$\rho_h=2.35\%$	$\rho_h=1.8\%$	$\rho_h=1.32\%$	$\rho_h=0.92\%$	درصد آرماتور قائم
۳۳۹/۳۹۳	۳۲۶/۸۹۱	۳۰۹/۰۷۴	۲۸۴/۲	۲۵۲/۹۳۸	حداکثر برشی پایه (kN)
٪ ۲/۰۵	٪ ۱/۴۳	٪ ۰/۸۸	٪ ۰/۴	-	درصد افزایش آرماتور قائم
٪ ۳۴/۱۸	٪ ۲۹/۲۳	٪ ۲۲/۲	٪ ۱۲/۳	-	درصد افزایش برش پایه

۴-۶ اثر آرماتور افقی

آرماتور برشی افقی برای جلوگیری از گسیختگی کششی قطری تامین می‌شود. این آرماتورها پاسخ غیرالاستیک دیوارهای در معرض تنش برشی اسمی بالا را بوسیله کاهش تغییر شکل برشی، بهبود می‌دهند. آرماتور برشی در مقاومت در برابر برش لغزشی بی‌اثر است و تاثیر ویژه‌ای در مقاومت خردشدگی جان ندارد.

نمودار نیرو-تغییر مکان دیوار برای درصدهای مختلف آرماتور افقی در شکل ۱۰ ارائه شده است. افزایش درصد آرماتور افقی باعث افزایش سطح مقاومت برشی دیوار می‌شود به طوری که به ازای افزایش ۲/۳۵ درصد نسبت آرماتور افقی، مقاومت برشی دیوار ۳۴ درصد افزایش یافته است. همچنین افزایش درصد آرماتور افقی باعث افزایش سطح زیر نمودار و در نتیجه درصد جذب انرژی شده است ولی تغییری در شیب قسمت خطی نمودار مشاهده نمی‌شود. در جدول ۵ میزان افزایش مقاومت برشی دیوار به ازای افزایش درصد آرماتور افقی ارائه شده است.



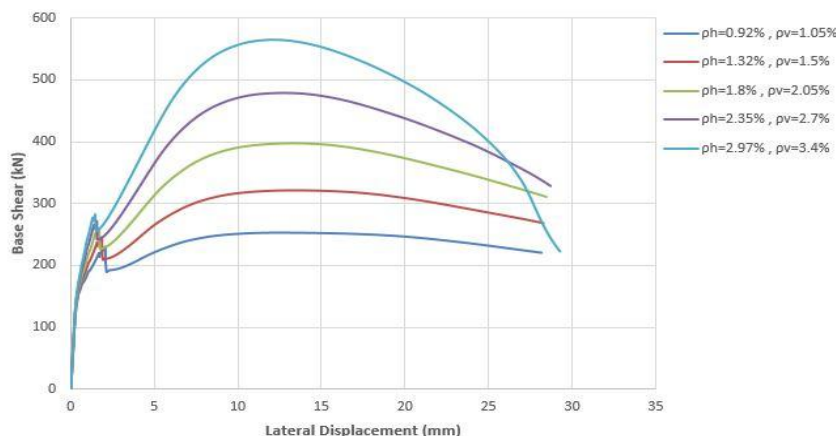
شکل ۱۰: نمودار نیرو-تغییر مکان دیوار برشی کوتاه تغییر درصد آرماتور افقی

جدول ۵: درصد افزایش برش پایه با افزایش درصد آرماتور افقی

درصد آرماتور افقی	$\rho_v=1.05\%$	$\rho_v=1.5\%$	$\rho_v=2.05\%$	$\rho_v=2.7\%$	$\rho_v=3.4\%$
حداکثر برشی پایه (kN)	۲۵۲/۹۳۸	۲۸۰/۹۸	۳۰۴/۳۱۲	۳۲۳/۴۶۶	۳۳۹/۵۴۵
درصد افزایش آرماتور افقی	-	٪ ۰/۴۵	٪ ۱	٪ ۱/۶۵	٪ ۲/۳۵
درصد افزایش برش پایه	-	٪ ۱۱	٪ ۲۰/۳	٪ ۲۷/۸۸	٪ ۳۴/۲۴

۵-۶ اثر توأم آرماتور قائم و افقی

در این مرحله از تحقیق، درصد آرماتور قائم و افقی همزمان افزایش داده شده است. نتایج حاصل از بررسی در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می شود با افزایش توأم درصد آرماتور قائم و افقی افزایش قابل توجه در سطح مقاومت برشی دیوارها اتفاق افتاده، به طوری که به ازای افزایش ۰/۴ درصد در میزان آرماتور قائم و ۰/۴۵ درصد در میزان آرماتور افقی، مقاومت برشی دیوارها ۲۷ درصد افزایش داشته است و با افزایش ۲/۰۵ درصد در میزان آرماتور قائم و ۲/۳۵ درصد در میزان آرماتور افقی، مقاومت برشی دیوارها ۱۲۳ درصد افزایش داشته است. در جدول ۶ میزان افزایش مقاومت برشی دیوار به ازای افزایش درصد آرماتور افقی ارائه شده است. در بررسی سطح زیر نمودار و در نتیجه درصد جذب انرژی نیز، افزایش قابل توجهی رخ داده است. در بررسی شیب قسمت خطی نمودار (سختی اولیه)، تغییری آنچنانی با تغییر توأم درصد آرماتورهای قائم و افقی رخ نمی دهد.



شکل ۱۱: نمودار نیرو-تغییر مکان دیوار برشی کوتاه تغییر توام درصد آرماتور قائم و افقی

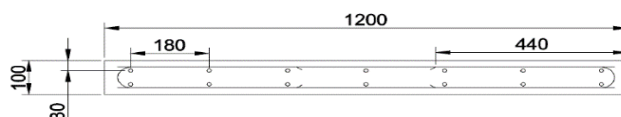
جدول ۶: درصد افزایش برش پایه با افزایش درصد آرماتور قائم و افقی

$\rho_h=2.97\%$ $\rho_v=3.4\%$	$\rho_h=2.35\%$ $\rho_v=2.7\%$	$\rho_h=1.8\%$ $\rho_v=2.05\%$	$\rho_h=1.32\%$ $\rho_v=1.5\%$	$\rho_h=0.92\%$ $\rho_v=1.05\%$	درصد آرماتور قائم و افقی
۵۶۴/۷۰۷	۴۷۸/۷۹۴	۳۹۷/۳۸۷	۳۲۱/۳۸	۲۵۲/۹۳۸	حداکثر برشی پایه (kN)
٪ ۲/۰۵	٪ ۱/۴۳	٪ ۰/۸۸	٪ ۰/۴	-	درصد افزایش آرماتور قائم و افقی
٪ ۲/۳۵	٪ ۱/۶۵	٪ ۱	٪ ۰/۴۵	-	درصد افزایش برش پایه

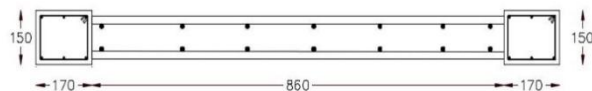
۶-۶ اثر المانهای مرزی

در این بخش اثر وجود المان مرزی در دیوارهای برشی کوتاه بررسی شده است. برای این منظور ابتدا دیوار برشی اولیه که دارای سطح مقطع مستطیلی به ابعاد 1200×100 میلیمتر است (شکل ۱۲ الف)) بررسی شده و سپس اجزای مرزی به ابعاد 170×150 و 170×200 و 170×300 میلیمتر به مقطع دیوار لحاظ شده است (شکل ۱۲ ب)). نتایج حاصل از بررسی در نمودار شکل ۱۳ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود وجود المان‌های مرزی باعث افزایش در سطح مقاومت برشی دیوار برشی کوتاه نسبت به سطح مقطع مستطیلی می‌شود بطوریکه لحاظ المان مرزی به ابعاد 170×200 میلیمتر باعث افزایش ۱۸ درصدی مقاومت برشی حداکثر دیوار، نسبت به دیوار با سطح مقطع مستطیلی شده است. در جدول ۷ میزان افزایش مقاومت برشی دیوار به ازای افزودن المان مرزی با ابعاد مختلف ارائه شده است.

در بررسی سطح زیر نمودار و درصد جذب انرژی در صورت وجود المان‌های مرزی، افزایش موارد فوق مشاهده می‌شود ولی تغییری در سختی اولیه دیوار اتفاق نمی‌افتد.

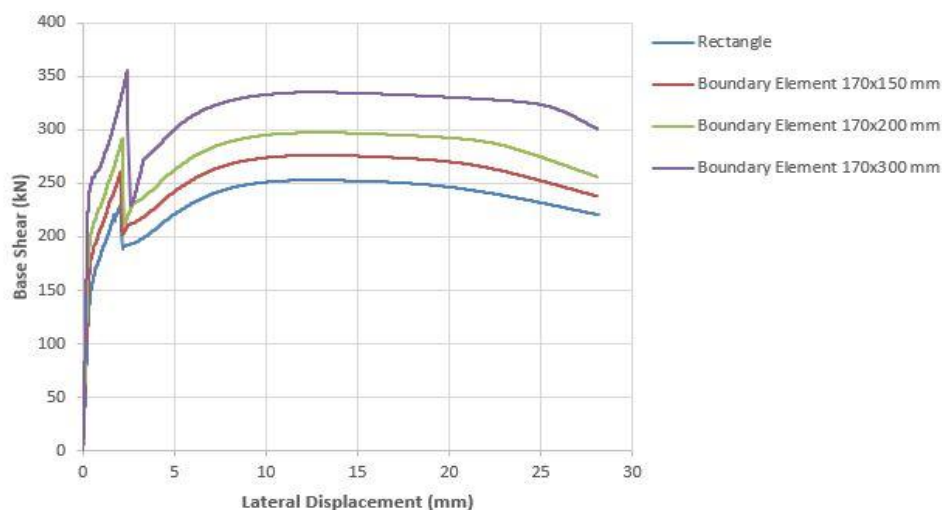


(الف)



(ب)

شکل ۱۲: سطح مقطع، ابعاد و جزئیات آرماتورگذاری نمونه دیوار برشی مورد بررسی (الف) در حالت بدون المان مرزی، (ب) با المان مرزی



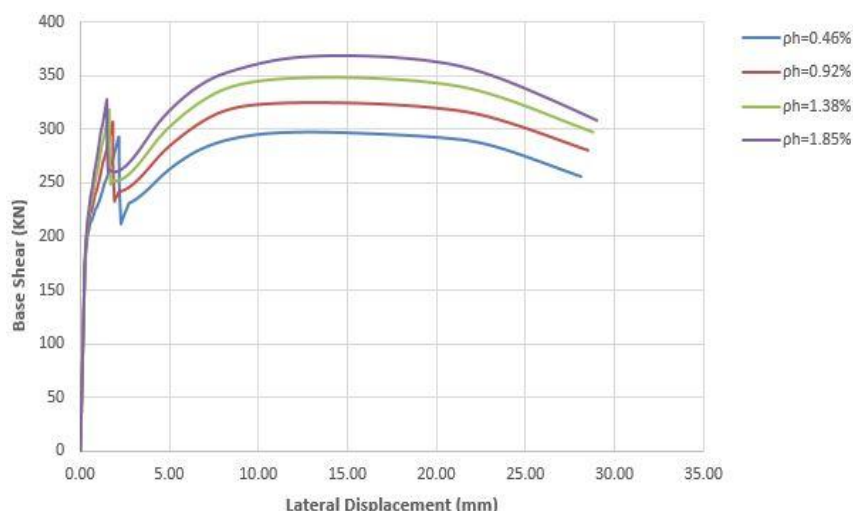
شکل ۱۳: نمودار نیرو-تغییر مکان دیوار برشی کوتاه بررسی اثر المان مرزی

جدول ۷: درصد افزایش برش پایه در صورت وجود المان مرزی

B.E.=170×300	B.E.=170×200	B.E.=170×150	without B.E.	وجود المان مرزی
۳۵۵/۳۴۶	۲۹۷/۴۱۳	۲۷۵/۹۹۷	۲۵۲/۹۳۸	حداکثر برشی پایه (kN)
٪ ۴۰/۵	٪ ۱۷/۶	٪ ۹/۱۱	-	درصد افزایش برش پایه

۶-۷ اثر تمرکز آرماتور در المان‌های مرزی

در این مرحله برای نمونه دیوار مورد بررسی اجزای مرزی به ابعاد 170×200 میلیمتر پیش بینی شده و آرماتور موجود در جزء مرزی که در ابتدا $2\phi 10$ بوده به $4\phi 10$ و $6\phi 10$ و $8\phi 10$ افزایش داده شده است. نتایج حاصل از بررسی در نمودار شکل ۱۴ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود تمرکز آرماتور قائم در اجزای مرزی باعث افزایش سطح مقاومت برشی دیوار، افزایش سطح تسلیم و درصد جذب انرژی می‌شود ولی تغییری در سختی اولیه دیوار مشاهده نمی‌شود. در جدول ۸ میزان افزایش مقاومت برشی دیوار به ازای افزایش درصد آرماتور متمرکز در المان مرزی ارائه شده است. در حالت افزایش $1/39$ درصد آرماتور قائم متمرکز در المان مرزی، مقاومت برشی دیوار ۲۴ درصد افزایش می‌یابد.



شکل ۱۴: نمودار نیرو-تغییر مکان دیوار برشی کوتاه تغییر درصد آرماتور قائم در المان مرزی

جدول ۸: درصد افزایش برش پایه با تمرکز آرماتور قائم در المان‌های مرزی

$\rho_h=1.85\%$	$\rho_h=1.38\%$	$\rho_h=0.92\%$	$\rho_h=0.46\%$	وجود المان مرزی
۳۶۸/۶۷۳	۳۴۸/۳۹۲	۳۲۴/۸۸۴	۲۹۷/۴۱۳	حداکثر برشی پایه (kN)
۱/۳۹	۰/۹۲	۰/۳۲	-	درصد افزایش آرماتور افقی
٪ ۲۴	۱۷/۱۴	٪ ۹/۲۴	-	درصد افزایش برش پایه

۷- نتیجه گیری

در این تحقیق تاثیر پارامترهای مختلف بر بهبود رفتار لرزه‌ای دیوارهای برشی کوتاه مورد بررسی قرار گرفته است. مهمترین نتایج حاصل از بررسی نشان می‌دهد که:

۱- با کاهش نسبت ارتفاع به طول دیوار برشی کوتاه، سطح مقاومت برشی دیوار افزایش پیدا می‌کند مدلی که نسبت ارتفاع به طول ۰/۵ دارد، دارای حداکثر مقاومت برشی، در حالیکه مدلی که نسبت ارتفاع به طول ۲ دارد، دارای شکل پذیری بیشتری می‌باشد، در بررسی شیب قسمت خطی نمودار (سختی اولیه عضو)، نمونه با نسبت ارتفاع به طول ۰/۵ بیشترین سختی اولیه را دارد. حداکثر مقاومت برشی در دیوار با نسبت ارتفاع به طول ۰/۵، برابر ۳۶ درصد بیشتر از دیوار با نسبت ارتفاع به طول برابر ۲ می‌باشد.

۲- با افزایش میزان بار محوری اعمالی به دیوار سطح مقاومت برشی دیوار، سطح زیر نمودار و در نتیجه درصد جذب انرژی افزایش می‌یابد ولی تغییری در شیب قسمت خطی نمودار مشاهده نمی‌شود. میزان افزایش در مقاومت برشی به ۱۹/۴ درصد در بیشترین حالت اعمال بار محوری، نسبت به حالت بدون وجود بار محوری می‌رسد.

۳- افزایش درصد آرماتور قائم باعث افزایش سطح مقاومت برشی، افزایش سطح زیر نمودار و در نتیجه درصد جذب انرژی شده است ولی تغییری در شیب قسمت خطی نمودار مشاهده نشده است. به ازای افزایش ۲/۰۵ درصد نسبت آرماتور قائم، مقاومت برشی دیوار ۳۴ درصد افزایش یافته است.

- ۴- افزایش درصد آرماتور افقی باعث افزایش سطح مقاومت برشی دیوار می‌شود همچنین افزایش سطح زیر نمودار و در نتیجه درصد جذب انرژی شده است ولی تغییری در شیب قسمت خطی نمودار مشاهده نشده است. به ازای افزایش $2/35$ درصد نسبت آرماتور افقی، مقاومت برشی دیوار 34 درصد افزایش یافته است.
- ۵- با افزایش توامان درصد آرماتور قائم و افقی افزایش قابل توجه در سطح مقاومت برشی دیوارها اتفاق افتاده است. در بررسی سطح زیر نمودار و در نتیجه درصد جذب انرژی نیز افزایش قابل توجه این موارد رخ داده است. در بررسی شیب قسمت خطی نمودار تغییری آنچنانی با تغییر توامان درصد آرماتورها رخ نداده است. به ازای افزایش $0/4$ درصد در میزان آرماتور قائم و $0/45$ درصد در میزان آرماتور افقی، مقاومت برشی دیوارها 27 درصد افزایش داشته است و با افزایش $2/05$ درصد در میزان آرماتور قائم و $2/35$ درصد در میزان آرماتور افقی، مقاومت برشی دیوارها 123 درصد افزایش داشته است.
- ۶- وجود المان‌های مرزی باعث افزایش در سطح مقاومت برشی دیوار برشی کوتاه نسبت به سطح مقطع مستطیلی می‌شود. همچنین وجود المانهای مرزی باعث افزایش سطح زیر نمودار و در نتیجه درصد جذب انرژی شده ولی تغییری در سختی اولیه دیوار مشاهده نشده است. وجود المان مرزی با ابعاد مختلف باعث افزایش 9 ، 17 و 40 درصد مقاومت برشی دیوار برشی کوتاه شده است.
- ۷- تمرکز آرماتور قائم در اجزای مرزی باعث افزایش سطح مقاومت برشی دیوار، افزایش سطح تسلیم و درصد جذب انرژی شده است ولی تغییری در سختی اولیه دیوار اتفاق نمی‌افتد. در حالت افزایش $1/39$ درصد آرماتور قائم متمرکز در المان مرزی، مقاومت برشی دیوار 24 درصد افزایش می‌یابد.

مراجع

- [1] Ghanizadeh, M., Sarvghad Moghadam, A., Farzam, M. (2016). Effect of the reinforcement patterns on the seismic performance of the short shear walls, *Journal of Modeling in Engineering*, 14(45), 79-92.
- [2] Ghanizadeh, M., Sarvghad Moghadam, A., Farzam, M. (2017). Effect of the axial force and material strength on the seismic behavior of the short shear walls, *Journal of Modeling in Engineering*, 15(48), 125-137.
- [3] Ghanizadeh, M., Farzam, M., Sarvghad Moghadam, A., (2017). Evaluation of Effective Parameters on Behavior of Shallow RC Shear Walls Considering Soil-Structure Interaction. *Modares Civil Engineering Journal*, 17(3), 89-101.
- [4] Al-Bayati A. F.; (2023). Shear Strength of Reinforced Concrete Squat Walls. *Civil Engineering Journal*, 9(2), 273-304.
- [5] Jin Ch.; Su Y. ; Pan Z. ; Meng Sh. (2023) Experimental Study and Finite Element Modelling of Squat Shear Walls under Combined Cyclic Loads and High Axial Loads. *Buildings*, 13(8), 2104.
- [6] Sivaguru V. (2020). Behaviour of Reinforced Concrete Squat Shear Walls with and without Openings. *Doctoral dissertation*, Department of Civil Engineering Indian Institute of Technology Madras Chennai-600036.
- [7] Gao, X. , Xu, Z. , Ren, X. , Li, J., (2024). Experimental analysis of RC and SPRC squat shear walls, *Journal of Building Engineering*, 93, 109861
- [8] Adorno-Bonilla, C., Vidot-Vega, A., (2015). Shear Strength of Squat Reinforced Concrete Walls under Cyclic Loading, *The 11th Canadian conference on earthquake engineering*, Victoria, BC, Canada, July 21 – 24.
- [9] Pachideh, Gh., Gholhaki, M., Yadegari, A., Shiri, M., (2016). Modeling and Analysis of Thin Steel Plate Shear Walls Using the New Method, 2nd international conference on civil engineering, architecture & urban planning elites, London, United Kingdom.
- [10] Gholhaki, M., Pachideh, Gh., Javahertarash, A., (2020). Capacity spectrum of SPSW using pushover and energy method without need for calculation of target point, *Structures*, 26, 516-523
- [11] Gholhaki, M., Karimi, M., Pachideh, Gh., (2019). Investigation of Subpanel Size Effect on Behavior Factor of Stiffened Steel Plate Shear Wall, *Journal of Structural and Construction Engineering*, 5 (4), 73-87.
- [12] Gholhaki, M., Pachideh, Gh., Rezayfar, O., ghazvini, S., (2019). Specification of Response modification factor for Steel Plate Shear Wall by Incremental Dynamic Analysis Method [IDA], *Journal of Structural and Construction Engineering*, 6 (2), 211-224.
- [13] Ashrafi, H.R., Beiranvand, P., Pouraminian, M., Moayeri, M.S., (2018). Examining the impact of sheet placement and changes in waves characteristics on behavior of wavy steel shear wall, *Case Studies in Construction Materials*, 9.
- [14] Mazzoni, S. (2006). *Opensees Command Language Manual*, <http://Opensees.Berkeley.edu>.
- [15] Kuang J. S., Ho, Y. B. (2008). Seismic behavior and ductility of squat reinforced concrete shear walls with nonseismic detailing. *ACI Structural Journal*, 105(2), 225-231.

- [16] Medhekar, M., S., Jain, S. K. (1993). Seismic behavior, design and detailing of RC shear walls, Part I: Behavior and strength. *The Indian Concrete Journal*.
- [17] Taucer F.F., Spacone E., Filippou F.C. (1991). A Fiber Beam-Column Element for Seismic Response Analysis of Reinforced Concrete Structures. *Earthquake Engineering Research Centre*, College of Engineering, University of California, Berkeley, Report UCB/EERC-91/17.
- [18] Orakcal, K., Massone, L.M., Wallace, J.W. (2006). Analytical Modeling of Reinforced Concrete Walls for Predicting Flexural and Coupled-Shear-Flexural Responses, *Pacific Earthquake Engineering Research Centre*, University of California, Los Angeles, Report PEER 2006/07.

