

ارزیابی پاسخ دیوارهای برشی بتن آرمه دارای بازشو تحت بارگذاری چرخه‌ای

محمد بهارلو*

دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه، موسسه‌ی آموزش عالی عقیق.

مهرداد حجازی

دانشیار، گروه عمران، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه اصفهان.

چکیده

در این تحقیق پارامترهای مؤثر بر عملکرد دیوارهای برشی بتن مسلح، همچون مقدار میلگردهای طولی و عرضی دیوار، بازشو، نسبت ابعاد بازشو، منظم و نامنظمی چیدمان بازشو در ارتفاع دیوار و فاصله بازشو از لبه دیوار مطالعه شده است و مناسب‌ترین حالت پارامترهای مورد بررسی برای حضور بازشو در دیوارهای برشی بتن مسلح ارائه گردیده است. نمونه دیوارهای بتنی با ابعاد $16/5 \times 6/5 \times 0/35$ m تحت اعمال همزمان بار چرخه‌ای و بار متمرکز یکنوا در بالاترین قسمت دیوار قرار گرفته‌اند. تحلیل غیرخطی با استفاده از نرم افزار المان محدود ABAQUS انجام شده و برای رفتار غیرخطی بتن از مدل پلاستیسیته آسیب استفاده شده است. یک نمونه دیوار بتنی بدون بازشو با حداقل مقدار میلگردهای طولی و عرضی آیین نامه‌ای به عنوان نمونه پایه در نظر گرفته شده و سایر نمونه‌ها از طریق معیارهایی چون ظرفیت باربری، میزان انرژی مستهلک شده، نحوه و توزیع ترک خوردگی و خرد شدگی با آن مقایسه شده‌اند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که حضور بازشو در دیوارهای بتنی به میزان $18/65\%$ سطح دیوار باعث کاهش 24% مقاومت و 43% سختی اولیه دیوار بازشودار نسبت به نمونه بدون بازشو شده است، نامنظمی چیدمان بازشوها در ارتفاع دیوار باعث افزایش 8% مقاومت و 12% سختی دیوار شده است. همچنین، مقاومت و سختی نمونه‌های دارای بازشو تابع فاصله بازشو از لبه دیوار و بازشو مجاور بوده است به نحوی که مناسب‌ترین دیوار برشی بازشودار از نظر مقاومت و سختی، دیواری است که بازشوها به اندازه $1/5$ برابر عرض بازشو از لبه دیوار فاصله گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: دیوار برشی بتن مسلح، بازشو، تحلیل غیر خطی، مود شکست، روش المان محدود.

* نویسنده مسئول: mohammadbaharloo69@gmail.com

۱- مقدمه

گسیختگی که به صورت عددی شناسایی شده با مودهای گسیختگی نمونه‌های آزمایشگاهی مقایسه شده‌اند و ماسورکا بیان نموده است، دیوارها با بازشو نامنظم در مقایسه با دیوارها با بازشو منظم، صلب‌تر و ظرفیت تحمل بار بیشتری را از خود نشان داده‌اند. در سال ۲۰۱۴ آلازکون و همکاران [۲] اثر بارهای محوری بر رفتار دیوارهای برشی بتن مسلح با نواحی مرزی محصور نشده را مورد مطالعه قرار داده‌اند. اهداف این تحقیق، مشاهده خسارات و ارزیابی اثر بارهای محوری بر رفتار لرزه‌ای دیوارهای بتن مسلح با مرزهای محصور نشده بوده است. سه نمونه دیوار یکسان بر اساس داده‌های حاصل از پنج ساختمان آسیب دیده طراحی شده است. این نمونه‌ها تحت بار چرخه‌ای برابر و تحت نسبت بار محوری متفاوت آزمایش شده‌اند. نتایج تجربی نشان داده است که بار محوری زیاد بعد از پوسته شدن پوشش بتن، خرد شدن بتن را سرعت بخشیده است.

در سال ۲۰۱۳ گوپالرنیم و کومار [۳] تحلیل دینامیکی غیرخطی المان محدودی را بر روی دیوار برشی چاق بازشوداری انجام داده‌اند. در این مطالعه پاسخ دینامیکی غیرخطی مصالح دیوار برشی، با و بدون بازشو و با نسبت میرایی متفاوت تحت زلزله ال سنتر و در نظر گرفته شده است. مشاهده گردید وجود بازشو در تغییر مکان‌ها و تنش‌های شدید روی دیوار برشی و همچنین تمرکز تنش در نوک بازشو تأثیر گذار است. از اینرو در نظر گرفتن میرایی برای بازشوه‌های بزرگ تحت شرایط بارگذاری دینامیکی الزامی است. در سال ۲۰۱۰ وانگ و همکاران [۴] رفتار دیوارهای سازه‌ای بتن آرمه با موقعیت مختلف قرارگیری بازشوها را به صورت آزمایشگاهی و همراه با مدل ماکرو مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این تحقیق دو مطالعه آزمایشگاهی به صورت دیوارهای سازه‌ای سه طبقه بازشودار انجام شده و یک مدل از طریق اصلاح مدل ماکرو مطرح شده تا ارتباط دقیق‌تر نیرو- جابه‌جایی در نمونه دیوارهای مختلف حاصل شود. محقق اشاره نموده است که مدل مطرح شده حتی در نمونه‌های با بازشوه‌های بزرگ و گوناگون در موقعیت قرارگیری بازشو مناسب است.

در سال ۲۰۱۰ کاون و هی [۵] اثر محصور شدگی بتن را بر رفتار دیوارهای برشی تحقیق نموده‌اند. ۶ نمونه دیوار مورد تحقیق عددی و آزمایشگاهی قرار گرفته‌اند. مدل‌های گسیختگی، الگوهای ترک خوردگی و منحنی‌های جابه‌جایی- نیرو نمونه‌های دیوار حاصل شده‌اند و تقریب خوبی بین نتایج آزمایشگاهی و مدل شکل گرفته

دیوار برشی بتن آرمه یک نوع سیستم باربر جانبی است که از سختی داخل صفحه‌ای بسیار زیادی برخوردار است، این موضوع باعث افزایش سختی، مقاومت و محدود نمودن تغییر مکان جانبی ساختمان می‌گردد. عملکرد این دیوارها شبیه تیر کنسول قائم و عمیقی است، که پایداری قابل قبولی را برای ساختمان‌ها فراهم می‌آورد. در دیوارهای برشی با نسبت ارتفاع به طول بزرگ، خمش و برای دیوارهای برشی با نسبت ارتفاع به طول کوچک، برش دارای اهمیت است. به همین دلیل دیوار برشی یک عضو ضروری برای سازه‌های بتن مسلح بلند و یک عضو مناسب برای سازه‌های متوسط و کوتاه است. جانمایی دیوار برشی در پلان ساختمان با توجه به ملزومات معماری و تأسیساتی ضرورت ایجاد بازشو در دیوار را فراهم نموده است. وجود بازشو در دیوارهای برشی باعث کاهش مقاومت برشی و خمشی دیوار و افزایش تغییر شکل‌های جانبی می‌شود.

بنابراین با توجه به شرایط موجود، مهندسان عمران در طراحی و اجرا به حضور بازشو در دیوارهای برشی مواجه خواهند شد. اما آیین‌نامه‌های موجود، ضوابط خاصی را برای حضور بازشو در دیوارهای برشی بتن آرمه در نظر نگرفته‌اند. به همین دلیل در این تحقیق، پارامترهای مؤثر بر عملکرد یکپارچه دیوارهای برشی بتن آرمه بدون بازشو و دارای بازشو همچون، تأثیر درصد آرماتورهای طولی و عرضی دیوار، تأثیر بازشو، نسبت ابعاد بازشو و منظم و نامنظمی چیدمان بازشو در ارتفاع دیوار مورد مطالعه قرار گرفته است. حضور بازشو با جانمایی‌های متفاوت و با نسبت ابعاد بازشو گوناگون جهت دست‌یابی به ضوابطی خاص برای دیوارهای برشی بتن آرمه دارای بازشو مورد توجه جدی قرار گرفته است. به همین دلیل در ابتدا سه نمونه دیوار برشی بدون بازشو (SW1)، دارای بازشو منظم (SW8) و دیوار با بازشوه‌های نامنظم (SW67)، که توسط ماسورکا [۱] مورد تحقیق آزمایشگاهی و عددی قرار گرفته است به عنوان دیوارهای مرجع مدل سازی شده است.

در سال ۲۰۱۴ ماسورکا [۱] مودهای گسیختگی چندین نوع دیوار برشی بتن آرمه با چیدمان بازشوه‌های منظم، نامنظم و یک دیوار بدون بازشو و همگی تحت بارگذاری چرخه‌ای را مورد مطالعه آزمایشگاهی و عددی قرار داده است. همه این دیوارها دارای ابعاد، نوع بتن و مقدار میلگرد مسلح کننده مشابه بوده‌اند. مودهای

در این تحقیق دیوارهای برشی با حضور دو بازشو در یک ردیف، جانمایی‌های متفاوت و نسبت ابعاد بازشو گوناگون، همچنین در نظر گرفتن وزن سقف با اعمال بار متمرکز قائم بر بالاترین بخش دیوار تحت بارگذاری چرخه‌ای با المان‌های مرزی هم سطح دیوار به عنوان نکات جدید در تحقیق حاضر، جهت دستیابی به ضوابطی خاص برای دیوارهای برشی بتن آرمه دارای بازشو مورد توجه جدی قرار گرفته است.

۲- صحت سنجی

اساس هر تحقیق عددی، مقایسه نتایج حاصل با نتایج آزمایشگاهی در شرایط حقیقی خود است. به همین جهت ضرورت دارد قبل از مدل سازی به روش اجزای محدود، اطمینان خاطری از صحت عملکرد نرم افزار و صحت مدل سازی حاصل شود. این امر با مدل سازی اجزای محدود نمونه‌های شبیه تحقیق در مقاله‌های معتبر بین-المللی امکان پذیر شده است. در این تحقیق، صحت سنجی بر روی سه نمونه دیوار برشی انجام شده است. در تحقیق حاضر با نرم افزار اجزای محدود ۲-۱۴-۶ ABAQUS [۹] صحت مدل سازی و نرم افزار بررسی شده است.

در این پژوهش سه نمونه دیوار برشی بدون بازشو (SW1)، دیوار با چیدمان منظم بازشو (SW8) و دیوار با چیدمان نامنظم بازشو (SW67) که توسط ماسورکا [۱] در سال ۲۰۱۳ مورد تحقیق آزمایشگاهی و عددی قرار گرفته‌اند به عنوان دیوارهای مرجع، مدل سازی شده است. همه دیوارها چهار طبقه و با مقطع مستطیلی هستند و همگی تحت یک بار قائم ۵۰ kN در مرکز مقطع و بار چرخه‌ای در بالاترین بخش دیوار قرار گرفته‌اند. وضعیت آزمایشگاهی بارگذاری دیوارها مطابق شکل ۱، پروتکل بارگذاری چرخه‌ای مطابق شکل ۲ استخراج شده از مقاله مرجع است. میزان جابه جایی و تعداد سیکل‌های اعمالی بر اساس شروع خرابی پاشنه‌های دیوارهای مرجع بدون بازشو و دارای بازشو اعمال شده است. ابعاد و مشخصات دیوارهای مدل سازی شده بر حسب میلی‌متر مطابق شکل ۳ و جدول ۱ است. مدل سازی بتن با المان ۸ گرهی SOLID C3D8R با ۳ درجه آزادی در هر گره و برای مدل سازی میلگرد از المان ۲ گرهی TRUSS T3D2 با ۳ درجه آزادی استفاده شده است. تحلیل مورد استفاده از نوع استاتیکی غیرخطی و بار جانبی اعمالی نیز از نوع کنترل تغییر مکان بوده است.

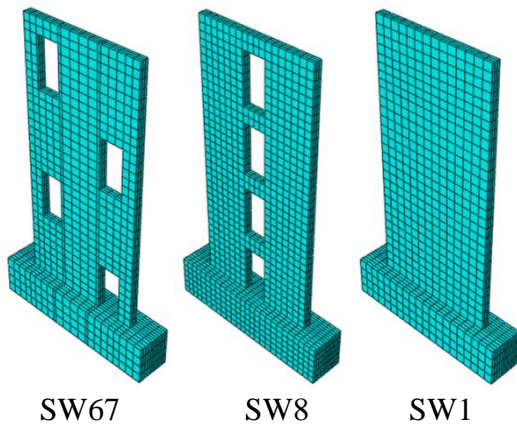
المان محدود نشان داده‌اند. یک مطالعه پارامتری روی رفتار محصور شدگی بتن دیوارهای برشی انجام شده است و با یک روش المان محدود توسعه یافته است. روشن است که محصورشدگی بتن در ناحیه فشاری می‌تواند به طور قابل ملاحظه-ای مقاومت جانبی و شکل پذیری دیوار را افزایش دهد. افزایش در مقاومت جانبی و شکل پذیری به خاطر محصور شدگی بتن و یا تحت بارهای قائم بزرگتر در دیوارهای با نسبت ارتفاع به عرض بزرگتر بیشتر است.

در سال ۲۰۰۶ سو و همکاران [۶] آزمایش‌های را ترتیب دادند تا اثر نسبت بار محوری اعمال شده به ظرفیت بار محوری (ALR) را بر عملکرد دیوارهای بتن آرمه مطالعه کنند. نتایج نشان داده که ALR تأثیر چشمگیری روی قابلیت تغییر شکل و مود شکست نمونه دارد. در نسبت‌های بالای ALR، مود شکست فشاری خارج صفحه‌ی ناگهانی مشاهده گردید. همچنین افزایش در ALR اثر مخرب روی زوال مقاومت و اتلاف انرژی دیوارها نشان داده است. در سال ۱۹۸۸ لین و کیو [۷] رفتار دیوارهای برشی بتن آرمه دارای بازشو را مورد مطالعه قرار داده‌اند. آنها مقاومت نهایی دیوار برشی دارای بازشو تحت بار جانبی را با تحلیل المان محدود و تحقیق آزمایشگاهی مطالعه نموده‌اند. نتایج نشان داده است که شکل پذیری و مقاومت برشی دیوار برشی دارای بازشو به شدت تحت تأثیر میلگردهای مسلح کننده اطراف بازشو بوده است.

در سال ۱۹۷۰ پائولی [۸] با بررسی رفتار ۹ نمونه آزمایشگاهی با میلگرد گذاری معمولی، بیان نمود رفتار سازه‌ای تیر عمیق استفاده شده به عنوان تیر همبند با رفتار تیرهای معمولی در خمش (با انحنای مضاعف) متفاوت است. در حالت تیر عمیق کل مقطع تیر تحت کشش قرار می‌گیرد و ناحیه تار خنثی در این مقطع وجود ندارد. در صورت ناکافی بودن میلگردهای برشی، شکست تیر بسیار ترد خواهد بود. وی همچنین با بررسی الگوی ترک خوردگی در ۹ نمونه آزمایشگاهی خود ارائه نموده که تیر توسط بزرگترین ترک قطری ایجاد شده به دو ناحیه مثلثی تقسیم شده و در صورتی که میلگردهای عرضی ناکافی باشد، جدا شدگی در امتداد قطر اصلی تیر رخ خواهد داد. از این رو با بررسی رفتار یک تیر طره مثلثی به این نتیجه رسید که شرایط تیر برنولی در این مقطع رعایت نمی‌شود و به توسعه‌ی روابطی در مورد نیروی کششی ایجاد شده در میلگردهای طولی تیر و روابطی برای تغییر شکل‌های تیر همبند پرداخته است.

جدول ۱- مشخصات ابعادی نمونه‌های آزمایشگاهی [۱]

مشخصات نمونه	نماد	ابعاد (m)
ارتفاع دیوار	H	۲/۶
عرض دیوار	B	۱/۲۵
ضخامت دیوار	t	۰/۰۸
ارتفاع طبقه	l	۰/۶۵
ارتفاع بازشو	h	۰/۵
عرض بازشو	b	۰/۲۵



SW67

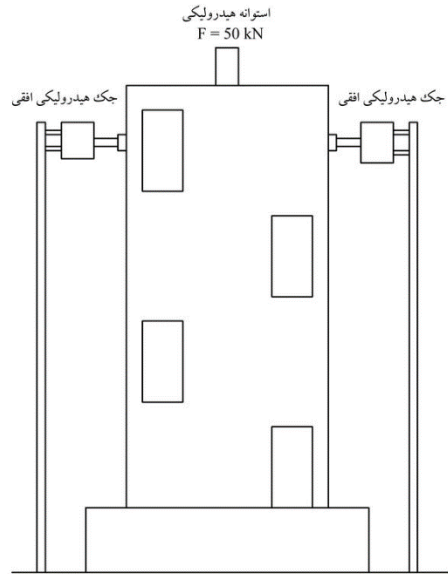
SW8

SW1

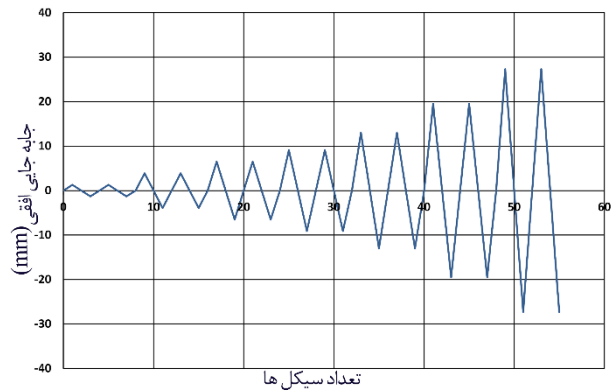
شکل ۴- مدل‌های المان محدود نمونه SW67، SW8 و SW1 [۱]

تعیین رفتار غیرخطی بتن مهم‌ترین مرحله در مدل‌سازی عددی سازه‌های بتن آرمه است. مدل خسارت پلاستیک بتن تنها مدلی است که در هر دو تحلیل استاتیکی و دینامیکی قابل استفاده است. در این مدل فرض بر این است که ترک کششی و خورد شدگی فشاری دو جنبه اصلی مکانیسم گسیختگی بتن است و برای مدل‌سازی شکست مصالح ترد تحت بارگذاری چرخه‌ای (کشش و فشار متناوب) طراحی شده است. به طوری که امکان بازیابی سختی در طول بارهای رفت و برگشتی وجود دارد. نمودار تنش- کرنش فشاری بتن مانند شکل ۵، با استفاده از روابط پس‌خرابی بتنی که در معرض فشار تک محوری قرار گرفته محاسبه شده است. پارامترهای E_0 ، d_c ، ϵ_c^{in} ، σ_c ، به ترتیب بیانگر حداکثر تنش فشاری، کرنش غیر الاستیک، پارامتر خرابی بتن و مدول الاستیسیته می‌باشند. همچنین ϵ_c بیانگر کرنش الاستیک کلی و ϵ_{oc}^{el} نشان دهنده کرنش الاستیک مصالح آسیب ندیده است.

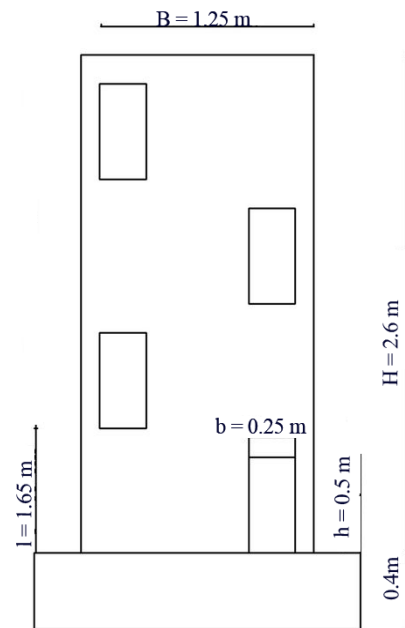
در این تحقیق برای تعیین نمودار تنش-کرنش فشاری بتن از مدل پیشنهادی هاگنستاد استفاده شده است. نمودار تنش-کرنش



شکل ۱- مدل آزمایشگاهی [۱]

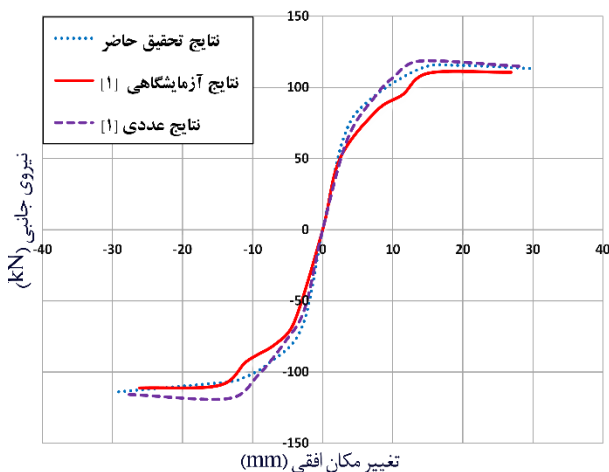


شکل ۲- تعداد سیکل‌ها و جابه‌جایی‌های اعمال شده [۱]



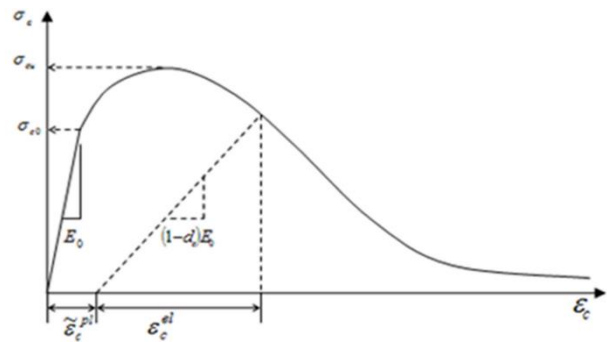
شکل ۳- مشخصات مدل آزمایشگاهی [۱]

بازشو (SW1) ارائه شده است. ظرفیت باربری نهایی نمونه (SW1) در آزمایشگاه در جهت رفت و برگشت بارگذاری چرخه‌ای به ترتیب $110/6 \text{ kN}$ و $111/2 \text{ kN}$ ، همچنین تحقیق-های عددی ماسورکا ظرفیت باربری 115 kN را در جهت رفت و برگشت بارگذاری نشان داده‌اند و از تحلیل المان محدود تحقیق حاضر برای ظرفیت باربری نمونه (SW1)، مقادیر $113/3 \text{ kN}$ در جهت رفت بارگذاری و $102/9 \text{ kN}$ در جهت برگشت بارگذاری چرخه‌ای بدست آمده است. تغییر مکان گوشه بالای نمونه دیوار بتنی آزمایشگاهی (SW1)، در جهت رفت بارگذاری و در جهت برگشت بارگذاری به ترتیب $26/9$ میلی‌متر و $26/1$ میلی‌متر مشاهده شده است. نتایج عددی محقق، میزان 28 میلی‌متر در جهت رفت و برگشت بارگذاری را برای تغییر مکان دیوار ارائه نموده است. تحلیل غیرخطی تحقیق حاضر نیز مقادیر $29/5$ میلی‌متر تغییر مکان گوشه بالای دیوار را برای نمونه (SW1) در جهت رفت و برگشت بارگذاری نشان داده است.

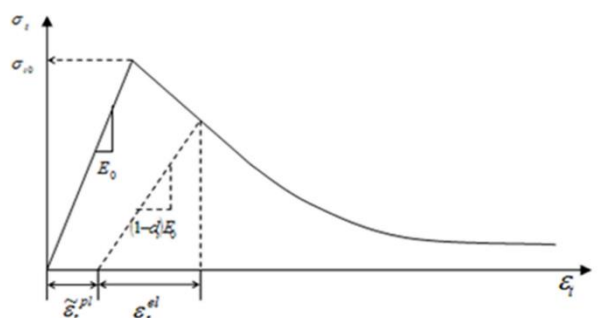


شکل ۷- مقایسه نتایج صحت تحلیل المان محدود نمونه (SW1) در شکل ۸ نتایج آنالیز المان محدود، آزمایشگاهی و عددی برای صحت سنجی دیوار برشی دارای بازشوها منظم (SW8) ارائه شده است. ظرفیت باربری نهایی نمونه (SW8) در آزمایشگاه در جهت رفت و برگشت بارگذاری چرخه‌ای به ترتیب 70 kN و 75 - همچنین تحقیق عددی ماسورکا ظرفیت باربری 68 kN را در جهت رفت و برگشت بارگذاری نشان داده است و از تحلیل المان محدود تحقیق حاضر برای ظرفیت باربری، مقادیر 74 kN در جهت رفت بارگذاری و $68/7 \text{ kN}$ در جهت برگشت بارگذاری چرخه-ای بدست آمده است. تغییر مکان گوشه بالای نمونه دیوار بتنی

کششی بتن، مانند شکل ۶ با استفاده از روابط پس خرابی بتن در معرض کشش بدست آمده است. برای تعیین این نمودار بایستی پارامترهای E_0 ، σ_t ، ϵ_t^{ck} ، d_t را که به ترتیب بیانگر مدول الاستیسیته اولیه، مقاومت کششی، کرنش شکست و پارامتر خرابی می‌باشند را مشخص نمود. همچنین ϵ_t بیانگر کرنش کششی کلی و ϵ_{ot}^{el} نشان دهنده کرنش الاستیک مصالح آسیب ندیده است.



شکل ۵- منحنی تنش - کرنش فشاری مدل خسارت پلاستیک [۱۰]

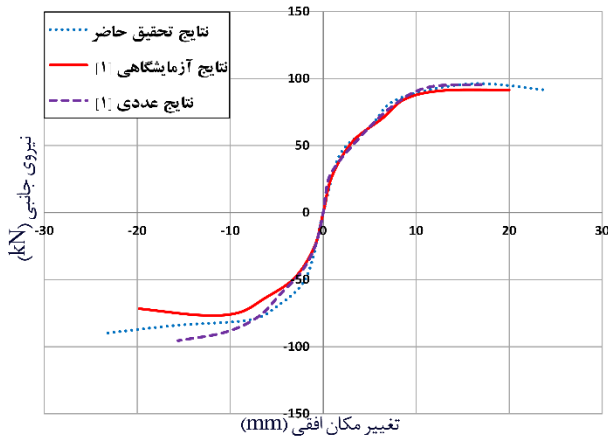


شکل ۶- نمودار تنش - کرنش کششی مدل خسارت پلاستیک [۱۰]

در این تحقیق از مدل وارنر و گیلبرت [۱۱] برای تعیین نمودار تنش - کرنش کششی استفاده شده است. برای تعیین رفتار غیر خطی فولاد نیز از مدل پلاستیک کامل با رفتار دو خطی استفاده شده است. مقاومت فشاری و کرنش فشاری بتن، در مدل سازی به ترتیب 45 MPa و $0/0035$ منظور شده و تنش تسلیم میلگردها 386 MPa و مقاومت نهایی میلگردها 551 MPa در نظر گرفته شده است.

۲-۱- مقایسه نتایج صحت مدل عددی

در شکل ۷ نتایج تحلیل المان محدود بدست آمده در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی و عددی برای صحت سنجی دیوار برشی بدون



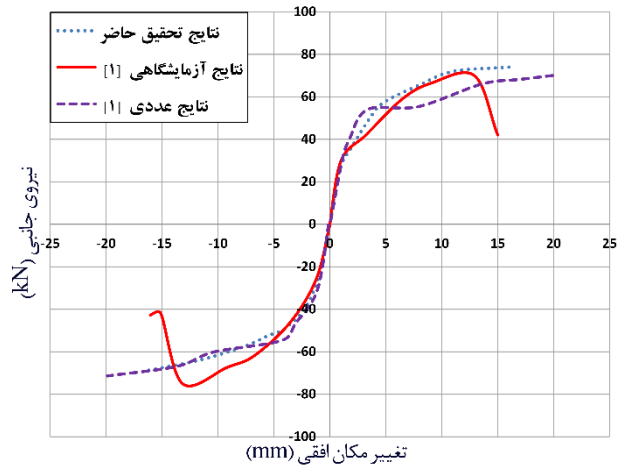
شکل ۹- مقایسه نتایج صحت تحلیل المان محدود نمونه (SW67)

نتایج مربوط به تحلیل اجزای محدود تحقیق حاضر، نشان از انطباق مناسب بین مقاومت و جابه‌جایی نهایی با نتایج نمونه‌های آزمایشگاهی و عددی نمونه‌های مرجع است. تفاوت نشان داده شده در میزان جابه‌جایی نهایی، ناشی از موقعیت و تعداد گره‌های است که در هنگام تحلیل با توجه به مقاله مرجع کمی با تقریب برای قرائت جابه‌جایی انتخاب شده است.

۳- بررسی پارامتری مدل‌ها

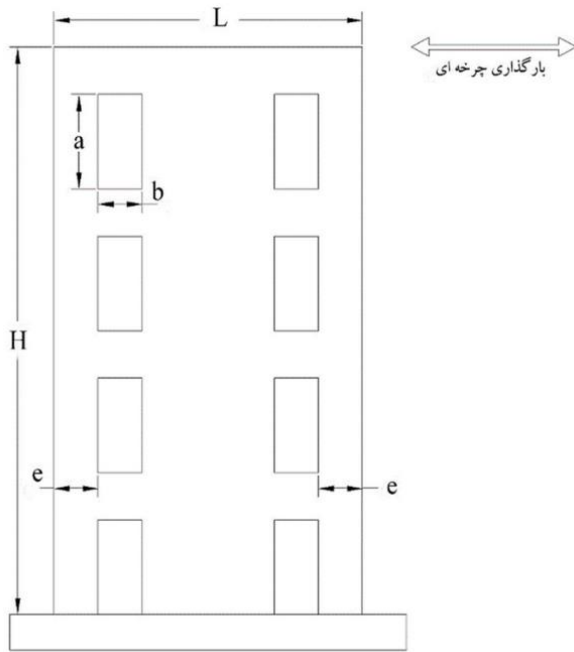
در این تحقیق دیوار برشی بازشوداری مطابق شکل ۱۰ به ارتفاع H ، طول L و ضخامت t در نظر گرفته شده است. نسبت H/L برابر $2/5$ و بازشوها به ابعاد $a \times b$ نام گذاری شده‌اند. a ارتفاع بازشو، b طول بازشو و e فاصله بازشو از لبه دیوار فرض شده است. پارامترهای مؤثر بررسی شده بر عملکرد یکپارچه دیوارهای برشی عبارتند از، بررسی اثر میلگردهای طولی و عرضی دیوار، تأثیر حضور بازشوها در دیوار، تأثیر نسبت ابعاد بازشوها، تأثیر فاصله بازشوها از لبه دیوار، تأثیر نامنظمی چیدمان بازشوها در ارتفاع دیوار و تأثیر حضور آرماتورهای قطری در تیر همبند. برای همه نمونه‌ها ارتفاع دیوار $16/5$ متر، طول دیوار $6/5$ متر، ضخامت دیوار $0/35$ متر، ارتفاع هر طبقه از دیوار $3/3$ متر و همگی تحت بارگذاری چرخه‌ای مطابق پروتکل بارگذاری صحت سنجی در بالاترین بخش دیوار می‌باشند. ابعاد فونداسیون نیز $1/75 \times 8 \times 1/75$ طبق ضوابط ACI طرح شده و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بتن و فولاد مطابق آنچه در بخش صحت سنجی ارائه شد در نظر گرفته شده است. با توجه به نسبت ارتفاع به طول بزرگتر از ۲ دیوار،

آزمایشگاهی، در جهت رفت و برگشت بارگذاری به ترتیب ۱۳ میلی‌متر و ۱۳/۱۶ میلی‌متر مشاهده شده است. نتایج عددی محقق، میزان ۱۷ میلی‌متر در جهت رفت بارگذاری و ۱۳/۷ میلی‌متر در جهت برگشت بارگذاری را برای تغییر مکان دیوار ارائه نموده و تحلیل غیر خطی تحقیق حاضر نیز مقادیر ۱۶ میلی‌متر تغییر مکان گوشه بالای دیوار را برای نمونه (SW8) در جهت رفت و ۱۶/۲ میلی‌متر در جهت برگشت بارگذاری تجربه نموده است.



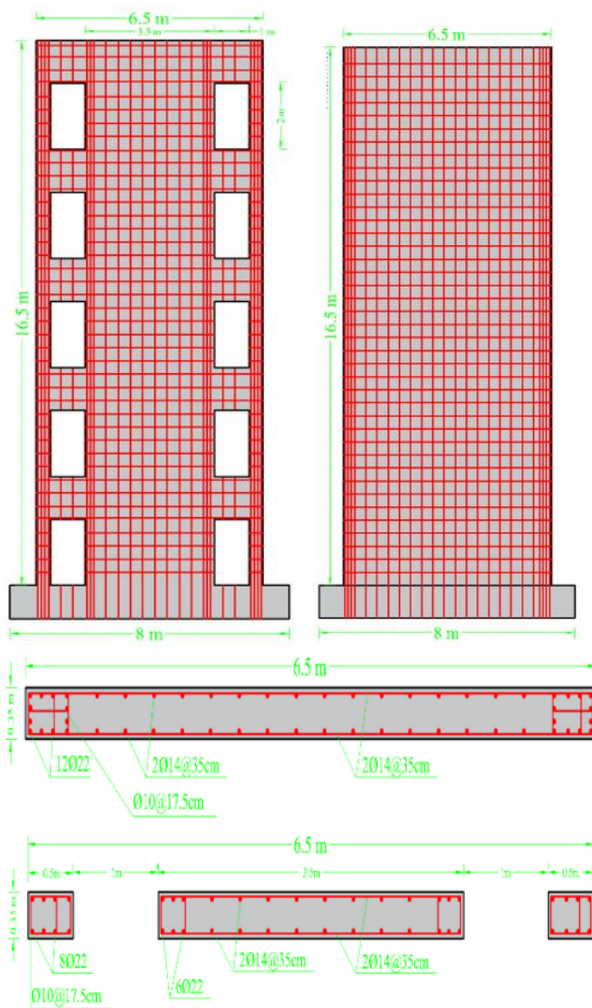
شکل ۸- مقایسه نتایج صحت تحلیل المان محدود نمونه (SW8)

در شکل ۹ نتایج تحلیل المان محدود بدست آمده در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی و عددی برای صحت سنجی دیوار برشی دارای بازشوهای نامنظم (SW67) ارائه شده است. ظرفیت باربری نهایی نمونه (SW67) در آزمایشگاه در جهت رفت و برگشت بارگذاری چرخه‌ای به ترتیب ۹۱ kN و ۷۶ kN-، همچنین تحقیق‌های عددی ماسور کا ظرفیت باربری ۹۵ kN را در جهت رفت و برگشت بارگذاری نشان داده‌اند و از تحلیل المان محدود تحقیق حاضر برای ظرفیت باربری نمونه (SW67)، مقادیر kN ۹۶ در جهت رفت بارگذاری و ۱۰۶ kN- در جهت برگشت بارگذاری چرخه‌ای بدست آمده است. تغییر مکان گوشه بالای نمونه دیوار بتنی آزمایشگاهی (SW67)، در جهت رفت بارگذاری و در جهت برگشت بارگذاری ۱۳ میلی‌متر مشاهده شده است. نتایج عددی محقق، میزان ۱۷ میلی‌متر در جهت رفت بارگذاری و ۱۵ میلی‌متر در جهت برگشت بارگذاری را برای تغییر مکان دیوار ارائه نموده و تحلیل غیر خطی تحقیق حاضر نیز مقادیر ۱۶ میلی‌متر تغییر مکان گوشه بالای دیوار را برای نمونه (SW67) در جهت رفت و برگشت بارگذاری تجربه نموده است.



شکل ۱۰- دیوار برشی بتن آرمه تحت بارگذاری چرخه‌ای

دیوار جز دیوارهای لاغر به حساب آمده و طبق ضوابط آیین‌نامه- ای عملکرد دیوارهای لاغر، خمشی است. بنابراین نتایج تحقیق حاضر برای دیوارهای لاغر قابل بررسی و راستی آزمایی است. طراحی آرماتورهای طولی و عرضی، متغیر در نظر گرفته شده و آرماتورهای المان‌های مرزی طبق ضوابط آیین‌نامه بر اساس 0.02 مساحت ناحیه‌ای مرزی و بر اساس $20L$ درصد (L، طول دیوار و یا طول بین دو بازشو) در t ، ضخامت دیوار) طرح شده است، همچنین سطح مقطع دیوار مرجع بدون بازشو (SW1) و دیوار مرجع بازشودار (R1) در شکل ۱۱ و نحوه چیدمان بازشوها به عنوان پارامتر متغیر در شکل ۱۲ نشان داده شده است. کلیه نمونه‌های تحقیق حاضر نامگذاری شده‌اند که مطابق جدول ۲ است. دیوار برشی مرجع (R1) با توجه به نسبت ابعاد بازشو به عنوان دیوار کوبله در نظر گرفته شده است.



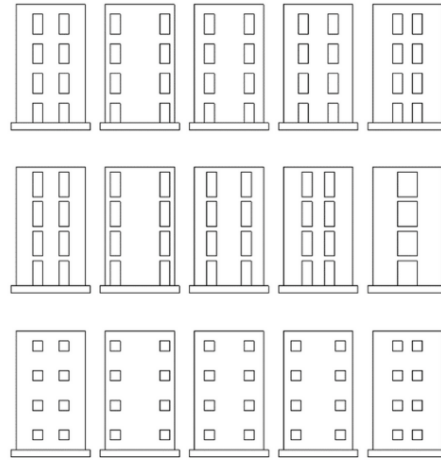
شکل ۱۱- مشخصات دیوار بتنی مرجع (SW1) و (R1)

جدول ۲- مشخصات نمونه دیوارهای بتنی تحقیق حاضر

نمونه	میلگرد افقی (%)	میلگرد قائم (%)	بازشو (%)	(e)	a/b
SW1	0.25	0.25	-	-	-
SW2	1	0.25	-	-	-
SW3	0.25	1	-	-	-
R1	0.25	0.25	18/65	0.5b	2
R4	0.25	0.25	18/65	1/5b	2
R5	1	0.25	18/65	1/5b	2
R6	0.25	1	18/65	1/5b	2
R7	0.25	0.25	18/65	2b	2
R8	1	0.25	18/65	2b	2
R9	0.25	1	18/65	2b	2
R10	0.25	0.25	18/65	1/5b	2
R11	0.25	0.25	18/65	2/5b	2
R16	0.25	0.25	18/65	0.5b	2
I 16	0.25	0.25	18/65	0.5b	2
R17	0.25	0.25	18/65	b	2
I17	0.25	0.25	18/65	b	2
R18	0.25	0.25	18/65	1/5b	2
R19	0.25	0.25	23/31	1/5b	2/5
R20	0.25	0.25	14	1/5b	1/5
R21	0.25	0.25	23/31	b	2/5
R22	0.25	0.25	23/31	2/25b	2/5
R23	0.25	0.25	14	b	1/5
R24	0.25	0.25	14	1/5b	1/5
R25	0.25	0.25	14	2b	1/5

مشاهده گردید، افزایش درصد سطح مقطع میلگردهای قائم دیوار از ۰/۲۵ درصد به ۱ درصد در نمونه (SW3) نسبت به نمونه (SW1) با حداقل درصد میلگردهای افقی و قائم (۰/۲۵ درصد) باعث افزایش ظرفیت باربری به میزان ۶۰/۶ درصد در جهت رفت و ۴۲/۳ درصد در جهت برگشت بارگذاری شده است. منحنی (SW2) افزایش درصد سطح مقطع میلگردهای افقی دیوار را از ۰/۲۵ درصد به ۱ درصد نسبت به نمونه با حداقل درصد میلگردهای افقی و قائم (SW1) ارائه نموده است، افزایش درصد سطح مقطع میلگردهای افقی و قائم در نمونه‌های SW2 و SW3 ثابت و به یک اندازه است. مشاهده گردید، افزایش درصد سطح مقطع میلگردهای افقی باعث افزایش ۲/۲۷ درصد ظرفیت باربری در جهت رفت و افزایش ۵/۳۸ درصد ظرفیت باربری در جهت برگشت بارگذاری شده است. میزان ۰/۲۵ درصد و ۱ درصد سطح مقطع میلگردهای مسلح کننده با توجه به ضابطه حداقل نسبت سطح مقطع میلگردهای افقی و عمودی آیین نامه (۰/۰۲۵) و حداکثر نسبت سطح مقطع میلگردهای افقی و عمودی با رعایت ناحیه هم پوشانی (۰/۰۲) در نظر گرفته شده است. هدف، بررسی این ضابطه آیین نامه بوده است. به این ترتیب که افزایش سطح مقطع میلگردهای قائم در دیوارهای برشی با عملکرد خمشی باعث افزایش مقاومت دیوار شده است. همچنین مشاهده گردید بیشینه میزان جذب انرژی کرنشی نمونه SW3 برابر ۸۳/۸ kJ است. در حالی که بیشینه میزان جذب انرژی کرنشی برای نمونه SW2 برابر ۵۱/۳۴ kJ و برای نمونه SW1 (نمونه مرجع) برابر ۵۰/۳۷ kJ است.

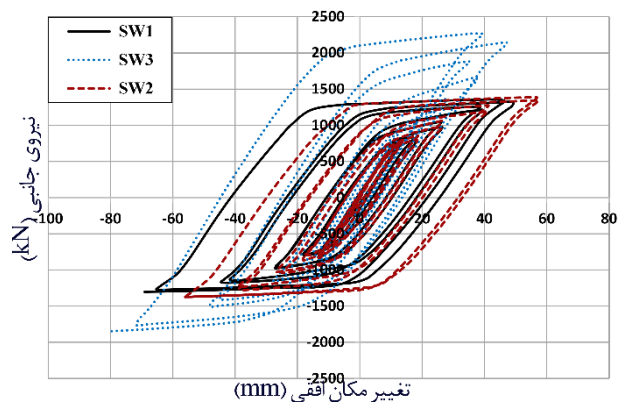
بنابراین نتیجه گردید، افزایش درصد سطح مقطع میلگردهای قائم دیوار از ۰/۲۵ درصد به ۱ درصد باعث افزایش ۴۲ درصد میزان جذب انرژی نمونه SW3 نسبت به نمونه مرجع (SW1)، شده و افزایش درصد میلگردهای افقی از ۰/۲۵ درصد به ۱ درصد باعث افزایش حدود ۲ درصد در میزان جذب انرژی نمونه SW2 نسبت به نمونه SW1 شده است. جدول ۳ ظرفیت باربری و جذب انرژی در دیوارهای این قسمت را نشان داده است. میزان جذب انرژی در انتهای بارگذاری و از کل منحنی هیسترسیز، خروجی مستقیم از نرم افزار مورد مقایسه قرار گرفته است. مشاهده شد، بیشترین ظرفیت باربری و جذب انرژی مربوط به نمونه SW3 (نمونه بتنی با بیشترین درصد سطح مقطع آرماتورهای مسلح کننده قائم) است.



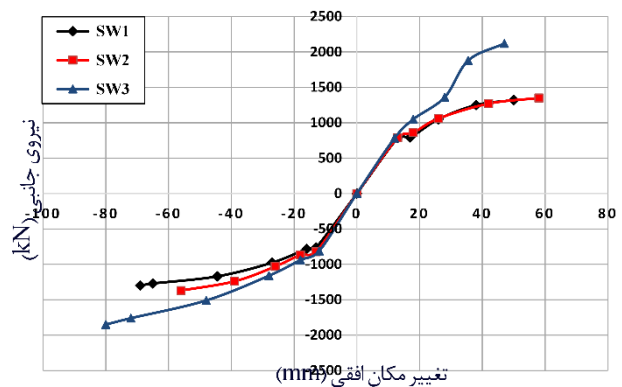
شکل ۱۲- چیدمان منظم بازشوها

۴-۱- دیوارهای برشی بدون بازشو

از تحلیل نمونه دیوارهای بتنی بدون بازشو با درصد سطح مقطع فولادهای مسلح کننده طولی و عرضی متغیر تحت بار چرخه‌ای، منحنی هیسترسیز برای سه نمونه SW1، SW2 و SW3 مطابق شکل ۱۳ حاصل شده و در شکل ۱۴ منحنی پوش هیسترسیز این سه نمونه ارائه گردیده است.



شکل ۱۳- منحنی هیسترسیز نمونه‌های SW1، SW2 و SW3



شکل ۱۴- منحنی پوش هیسترسیز نمونه‌های SW1، SW2 و SW3

جدول ۳- نتایج مربوط به ظرفیت باربری دیوارهای بدون بازشو تحت بارگذاری چرخه‌ای

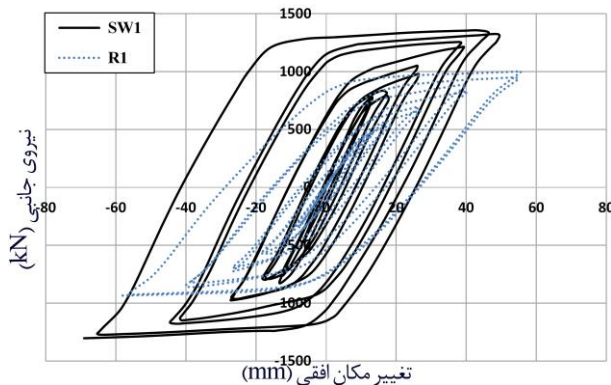
نمونه	ظرفیت باربری در جهت رفت بارگذاری (kN)	ظرفیت باربری در جهت برگشت بارگذاری (kN)	میزان بیشینه جذب انرژی (kJ)	میلگرد افقی (%)	میلگرد قائم (%)
SW1	۱۳۲۰	-۱۳۰۰	۵۰/۳۷	۰/۲۵	۰/۲۵
SW2	۱۳۵۰	-۱۳۷۰	۵۱/۳۴	۱	۰/۲۵
SW3	۲۱۲۰	-۱۸۵۰	۸۳/۸	۰/۲۵	۱

۲-۴- دیوارهای برشی دارای بازشو

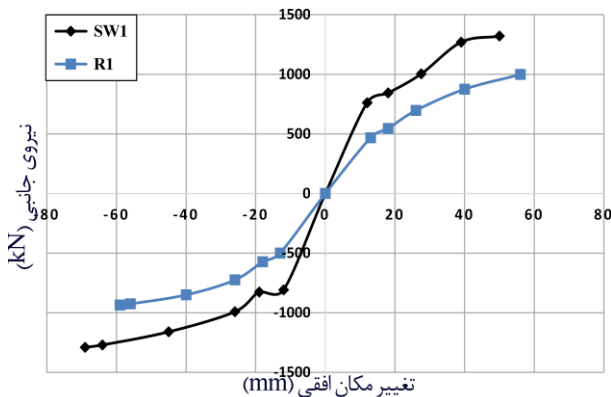
۱-۲-۴- تأثیر وجود بازشو بر رفتار چرخه‌ای دیوار

فشاری بتن (خرد شدگی)، نتیجه گردید که نمونه بتنی بازشودار در نواحی مرزی و تیرهای همبند طبقه اول، آسیب فشاری (خردشدگی) بیشتری را نشان داده است.

در این قسمت تأثیر حضور بازشو در دیوارهای برشی بتن آرمه مورد مطالعه قرار گرفته است. از نمودار هیسترسیز و پوش هیسترسیز دو نمونه SW1 و R1 در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ مشاهده گردید، وجود بازشو در نمونه بتنی R1 به میزان ۱۸/۶۵ درصد سطح کل دیوار، باعث کاهش ظرفیت باربری دیوار بازشودار نسبت به نمونه بدون بازشو (SW1) به میزان ۲۴/۳۸ درصد در جهت رفت بارگذاری و ۲۸/۱ درصد در جهت برگشت بارگذاری شده است. همچنین مشاهده گردید، وجود بازشو نیز موجب کاهش سختی اولیه نمونه R1 نسبت به نمونه SW1 در هر دو جهت رفت و برگشت بارگذاری شده است. این کاهش سختی اولیه به میزان ۴۳ درصد در هر دو جهت رفت و برگشت بارگذاری بوده است (سختی منحنی‌های هیسترسیز بر اساس شیب سیکل اول هیسترسیز محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفته است). میزان جذب انرژی نمونه SW1، ۵۰/۳۷۰ kJ و نمونه R1، ۳۴/۱۵ kJ حاصل شده است. نمونه R1 نسبت به نمونه SW1، به میزان ۳۲/۲ درصد کاهش جذب انرژی را نشان داده است. این کاهش جذب انرژی به عنوان نقطه ضعف در عملکرد چرخه‌ای دیوار به حساب آمده است. در جدول ۴ نیز نتایج مربوط به ظرفیت باربری و جذب انرژی نمونه‌های SW1 و R1 ارائه شده است.



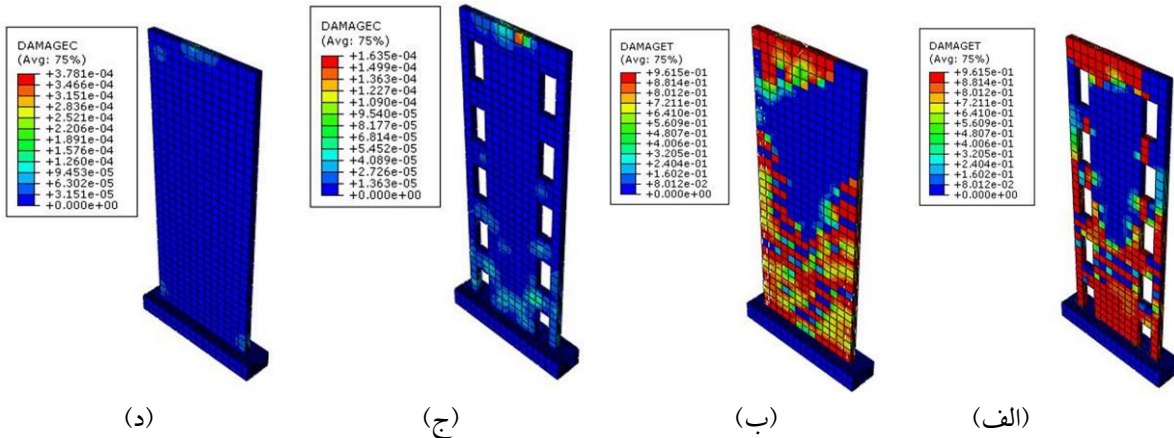
شکل ۱۵- منحنی هیسترسیز نمونه‌های SW1 و R1



شکل ۱۶- منحنی پوش هیسترسیز نمونه‌های SW1 و R1

در نمونه بدون بازشو پاشنه‌های دو طرف دیوار مستعد توسعه آسیب دیدگی دیوار هستند. بنابراین نتیجه گردید، حضور بازشو در دیوارهای بتنی باعث کاهش مقاومت و سختی دیوار شده است و تخریب دیوارهای بدون بازشو از پاشنه‌های دیوار شروع شده و در دیوار بازشودار، تخریب از پایه‌های کوچک‌تر دو طرف بازشو و تیر همبند طبقه اول توسعه یافته است.

مشاهده آسیب دیدگی کششی بتن (ترک خوردگی) در شکل ۱۷ قسمت (الف) و (ب) نشان از این است که در نمونه بازشودار (R1)، در اطراف بازشوها ترک خوردگی رشد چشمگیری دارد و در نمونه بدون بازشو (SW1) در نواحی مرزی دیوار، که این امر ناشی از تمرکز تنش در نواحی مرزی دیوار و لبه‌های بازشوها است. با مشاهده قسمت (ج) و (د) شکل ۱۷ مربوط به پارامتر آسیب

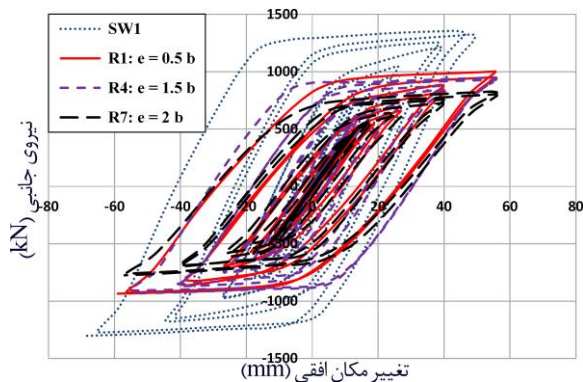


شکل ۱۷- کانتور آسیب دیدگی بتن در کشش (ترک خوردگی) در انتهای تحلیل: (الف) R1 (ب) SW1، کانتور آسیب دیدگی بتن در فشار (خرد شدگی) در انتهای تحلیل: (ج) R1 (د) SW1

جدول ۴- نتایج مربوط به ظرفیت باربری نمونه‌های SW1 و R1 تحت بارگذاری چرخه‌ای

سختی برشی (kN/mm)		میزان جذب انرژی (kJ)	ظرفیت باربری در جهت برگشت بارگذاری (kN)	ظرفیت باربری در جهت رفت بارگذاری (kN)	نمونه
-	+				
۶۷/۳	۶۳/۴	۵۰/۳۷	-۱۳۰۰	۱۳۲۰	SW1
۳۸/۴	۳۵/۹	۳۴/۱۵	-۹۳۵	۹۹۸/۲	R1

نسبت به نمونه بدون بازشو ۲۵ درصد است. پس از آن، بازشو به اندازه $(e = 2b)$ از لبه دیوار فاصله گرفته (بیشترین فاصله از لبه دیوار و کمترین فاصله از بازشو مجاور)، در این وضعیت ۳۵ درصد افت سختی نسبت به نمونه بدون بازشو SW1 مشاهده شده است. بنابراین مشاهده گردید، با فاصله گرفتن بازشوها از لبه دیوار، افت ۴۰ درصد، ۲۵ درصد و ۳۵ درصد در سختی دیوارهای بازشودار این بخش نسبت به نمونه مرجع اتفاق افتاده است، همچنین فاصله بازشو با مقدار $(e = 1/5b)$ از لبه دیوار، کمترین کاهش سختی را نشان داده است.



شکل ۱۸- منحنی هیسترسس نمونه‌های SW1، R1، R4 و R7

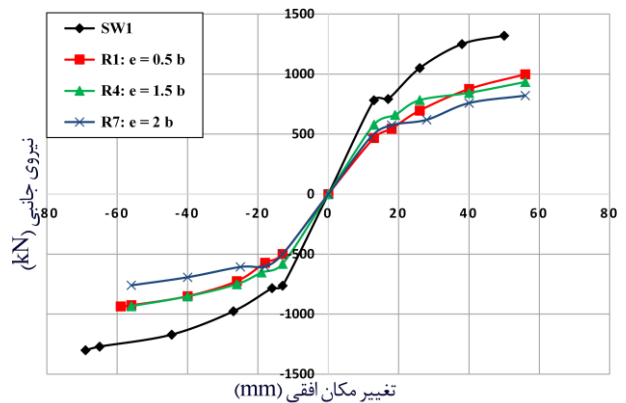
۴-۲-۲- تأثیر فاصله بازشو از لبه دیوار بر رفتار چرخه‌ای دیوار برشی بازشودار

از منحنی هیسترسس و پوش هیسترسس حاصل از بارگذاری چرخه‌ای بر روی نمونه‌های بدون بازشو و بازشودار، متأثر از فاصله بازشو از لبه دیوار با میلگردهای افقی و قائم حداقل در شکل‌های ۱۸ و ۱۹، مشاهده گردید، با وجود بازشو در میزان ظرفیت باربری، ۱۷ درصد در جهت رفت و ۱۸ درصد در جهت برگشت بارگذاری اختلاف بین دیوار با کمترین فاصله بازشو از لبه دیوار $(e = 0/5b)$ و دیوار با بیشترین فاصله بازشو از لبه دیوار $(e = 2b)$ مشاهده شده است.

همچنین سختی دیوارهای بتنی بازشودار متأثر از فاصله بازشو از لبه دیوار و بازشو مجاور است به نحوی که، هنگامی که بازشو کمترین فاصله از لبه دیوار و بیشترین فاصله از بازشو مجاور را دارد $(e = 0/5b)$ ، ۴۰ درصد کاهش در سختی اولیه نمونه بازشودار R1 نسبت به نمونه بدون بازشو SW1 اتفاق افتاده است. فاصله گرفتن بیشتر بازشو از لبه دیوار به اندازه نیز $(e = 1/5b)$ با کاهش سختی نسبت به نمونه بدون بازشو همراه بوده است. میزان این کاهش سختی

ارزیابی پاسخ دیوارهای برشی بتن آرمه دارای بازشو ...

(= باعث افت بیشتر ظرفیت باربری به مقدار ۲۹ درصد شده و بیشترین فاصله بازشو از لبه دیوار به مقدار $(e = 2b)$ بیشترین کاهش ظرفیت باربری را به میزان ۳۸ درصد نتیجه شده است. ملاحظه گردید، پس از نمونه بدون بازشو SW1، دیوار برشی با فاصله بازشو $(e = 0.5b)$ از لبه دیوار، بیشترین ظرفیت باربری و دیوار با فاصله بازشو $(e = 2b)$ از لبه دیوار، کمترین ظرفیت باربری را نشان داده است. در جدول ۵ میزان ظرفیت باربری و خصوصیات نمونه‌ها نشان داده شده است.



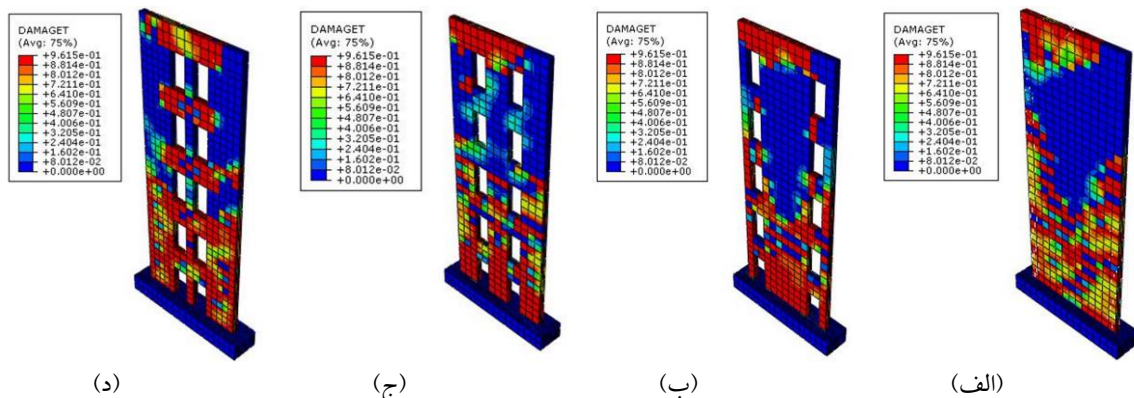
شکل ۱۹- پوش هیسترسز نمونه‌های SW1، R1، R4 و R7

در شکل ۲۰ از کانتورهای آسیب دیدگی کششی بتن (ترک خوردگی) نمونه‌های SW1، R1، R4 و R7 ملاحظه گردید، در نمونه‌های بازشودار، فاصله کم بازشو از لبه‌های دیوار منجر به ترک خوردگی شدید پایه‌های دیوار، مخصوصاً پایه‌های طبقات پایین تر گردیده و هرچقدر فاصله بازشوها از لبه‌های دیوار بیشتر و از داخل، بازشوها به هم نزدیک تر شده‌اند ترک خوردگی در تیرهای همبند بین بازشوها افزایش یافته است.

از نظر مقاومت، مشاهده گردیده با حضور بازشو و افزایش فاصله بازشوها از لبه دیوار ظرفیت باربری دیوار ۲۴ درصد، ۲۹ درصد و ۳۸ درصد کاهش یافته است. به نحوی که دیوار بازشودار با فاصله $(e = 0.5b)$ از لبه دیوار، ۲۴ درصد افت در ظرفیت باربری نشان داده است، بیشتر شدن فاصله بازشو از لبه دیوار به میزان $(e = 1.5b)$

جدول ۵- نتایج مربوط به ظرفیت باربری نمونه‌های SW1، R1، R4 و R7 (نسبت a/b برابر ۲)

نمونه	ظرفیت باربری در جهت رفت بارگذاری (kN)		ظرفیت باربری در جهت برگشت بارگذاری (kN)		فاصله بازشو از لبه دیوار	سختی برشی (kN/mm)	
	+	-	+	-		-	+
SW1	۱۳۲۰	-۱۳۰۰	۵۸/۷	۶۰/۱۲	بدون بازشو	بدون بازشو	
R1	۹۹۸/۱۸	-۹۳۵	۳۸/۴۱	۳۵/۹۷	۰/۵ b	۱۸/۶۵	
R4	۹۳۴	-۹۳۳	۴۴/۷	۴۴/۵۲	۱/۵ b	۱۸/۶۵	
R7	۸۲۰	-۷۶۰	۳۸/۴۹	۳۹/۳۷	۲ b	۱۸/۶۵	

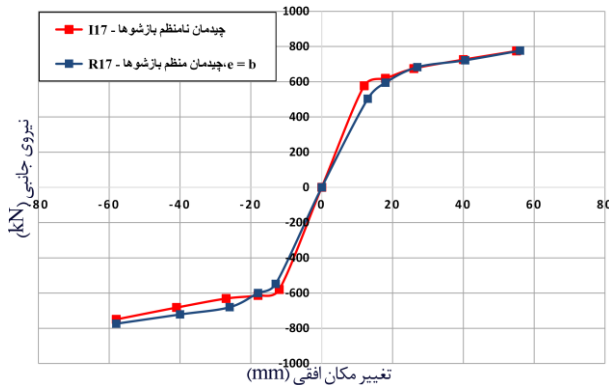


شکل ۲۰- کانتور آسیب دیدگی بتن در کشش (ترک خوردگی) در انتهای تحلیل: (الف) SW1 (ب) R1 (ج) R4 و (د) R7

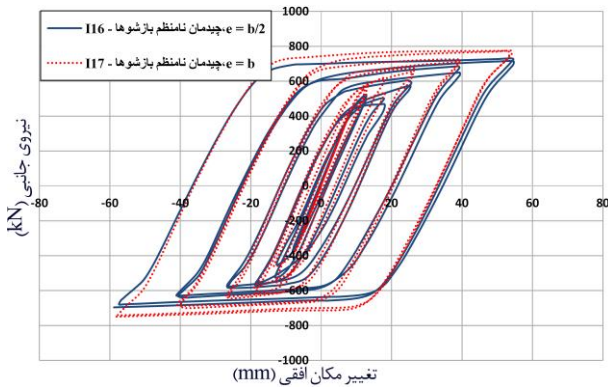
دیوارهای بتنی دارای بازشو مستطیلی (نسبت طول به عرض بازشو ۲) با درصد سطح بازشو به سطح کل دیوار ثابت مطابق نمونه‌های قبل، (۱۸/۶۵ درصد) و درصد فولادهای مسلح کننده طولی و عرضی حداقل، تحت بارگذاری چرخه‌ای، منحنی هیسترسز و

۲-۳- تأثیر چیدمان نامنظم بازشوهای مستطیلی بر رفتار چرخه‌ای دیوار برشی بازشودار $(a/b = 2)$ در این قسمت تأثیر چیدمان نامنظم بازشوهای مستطیلی در ارتفاع دیوار با نسبت ابعاد بازشو $a/b = 2$ مطالعه شده است. از تحلیل

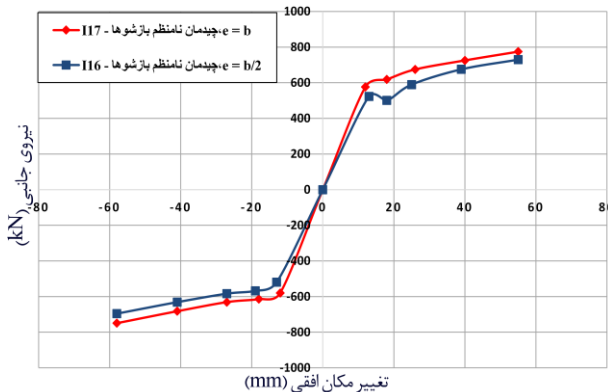
هیسترسیز و پوش هیسترسیز نمونه‌های I16 و I17 نشان داده شده است. در این حالت مقایسه‌ای بین چیدمان نامنظم بازشوها در وضعیتی انجام شده است که در نمونه I16 بازشوهای گوشه به اندازه $e = 0.5b$ از لبه دیوار و در نمونه I17 بازشوهای گوشه به اندازه $e = b$ از لبه دیوار فاصله گرفته‌اند. مشاهده گردید، نمونه I17 با فاصله بیشتر از لبه دیوار، نسبت به نمونه I16 با فاصله کمتر از لبه، ۶ درصد در جهت رفت و ۸ درصد در جهت برگشت بارگذاری رشد در ظرفیت باربری و ۱۶/۶ درصد رشد در سختی نشان داده است.



شکل ۲۳- منحنی پوش هیسترسیز نمونه‌های R17 و I17

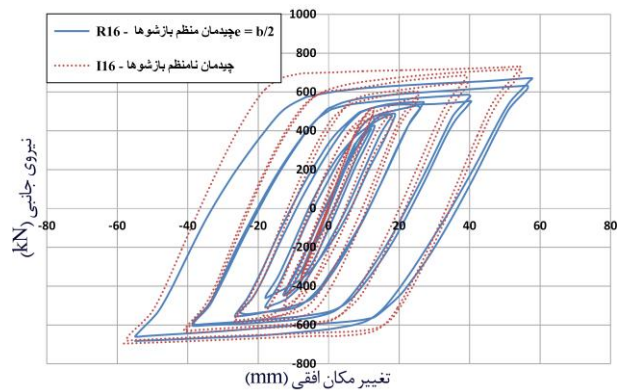


شکل ۲۴- منحنی هیسترسیز نمونه‌های I16 و I17

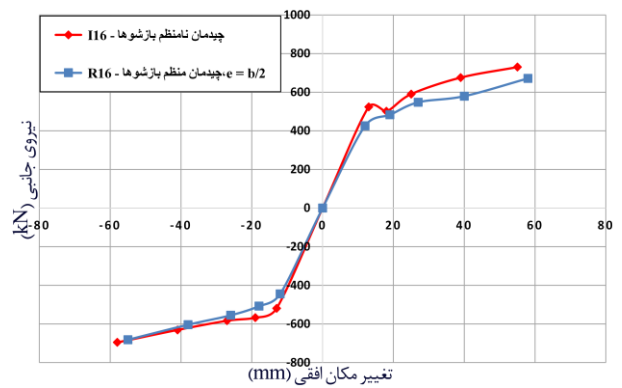


شکل ۲۵- منحنی پوش هیسترسیز نمونه‌های I16 و I17

پوش هیسترسیز نمونه‌های I16، R16، R17 و I17 مطابق شکل‌های ۲۱ تا ۲۵ حاصل گردیده است. در شکل‌های ۲۱ و ۲۲ منحنی هیسترسیز و پوش هیسترسیز نمونه‌های R16 و I16 ارائه شده است. در این حالت، مقایسه‌ای بین چیدمان منظم و نامنظم بازشوها در وضعیتی انجام شده که بازشوهای گوشه به اندازه $e = 0.5b$ از لبه دیوار فاصله گرفته‌اند. مشاهده گردید، نمونه با چیدمان نامنظم بازشوها (I16)، نسبت به نمونه با چیدمان منظم بازشوها (R16)، ۸ درصد در جهت رفت و ۲ درصد در جهت برگشت بارگذاری رشد در ظرفیت باربری و ۱۲ درصد رشد در سختی اولیه نشان داده است.



شکل ۲۱- منحنی هیسترسیز نمونه‌های R16 و I16



شکل ۲۲- منحنی پوش هیسترسیز نمونه‌های R16 و I16

در شکل ۲۳ پوش هیسترسیز نمونه‌های R17 و I17 نشان داده شده است. در این حالت مقایسه‌ای بین چیدمان منظم و نامنظم بازشوها در وضعیتی انجام گرفته است که بازشوهای گوشه به اندازه $e = b$ از لبه دیوار فاصله دارند. مشاهده گردید، نمونه با چیدمان بازشوهای نامنظم (I17)، نسبت به نمونه با چیدمان بازشوهای منظم (R17)، از نظر مقاومت افزایشی نیافته، اما سختی اولیه نمونه با بازشوهای نامنظم رشد یافته است. در شکل‌های ۲۴ و ۲۵ منحنی

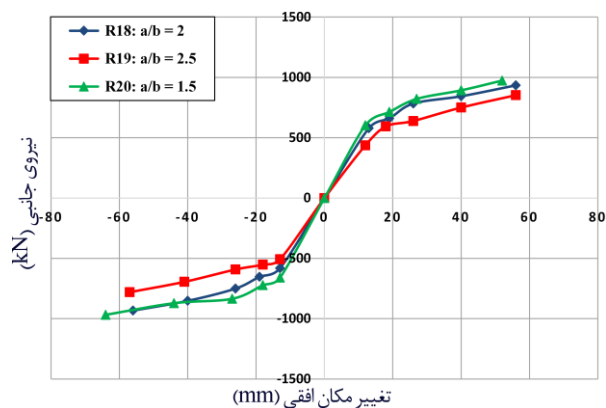
ارزیابی پاسخ دیوارهای برشی بتن آرمه دارای بازشو ...

شرایط فاصله بازشو به اندازه $e = b$ (عرض بازشو) از دو طرف دیوار در چیدمان نامنظم بازشوها، سختی دیوار نسبت به نمونه مشابه با بازشوهای منظم رشد یافته است.

در جدول ۶ نتایج مربوط به این بخش ارائه شده است. بنابراین نتیجه گردید نامنظمی بازشوهای مستطیلی با نسبت ابعاد $a/b = 2$ باعث افزایش مقاومت و سختی دیوار شده و در این تحقیق، تحت

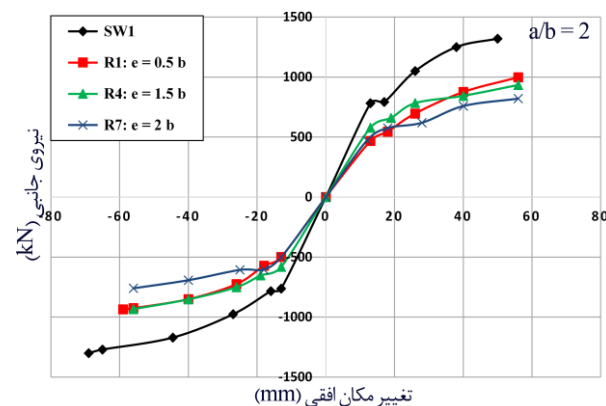
جدول ۶- نتایج مربوط به ظرفیت باربری نمونه‌های R12، R13، R14 و R15 (نسبت a/b برابر ۱)

نمونه	ظرفیت باربری در جهت رفت بارگذاری (kN)		ظرفیت باربری در جهت برگشت بارگذاری (kN)		مساحت بازشو به مساحت دیوار (%)	فاصله بازشو از لبه دیوار	سختی برشی (kN/mm)	
	+	-	+	-			-	+
R16	۶۷۱/۲	-۶۸۲/۲۲	۱۸/۶۵	۰/۵ b	۳۵/۴۷	۳۷/۰۹		
R17	۷۷۶	-۷۷۳	۱۸/۶۵	b	۳۶	۳۸/۴۱		
I16	۷۳۰	-۶۹۶	۱۸/۶۵	۰/۵ b	۴۰/۲۵	۴۰		
I17	۷۷۴	-۷۵۰	۱۸/۶۵	b	۴۸/۰۶	۴۸/۳۴		



شکل ۲۷- پوش هیسترسیز نمونه‌های R18، R19 و R20

شکل ۲۸ تغییرات e برای نسبت ابعاد بازشو $a/b = 2$ را نشان داده است. مشاهده گردید با تغییر e رفتار دیوار شامل بر مقاومت و سختی اولیه دچار افزایش و کاهش شده است.

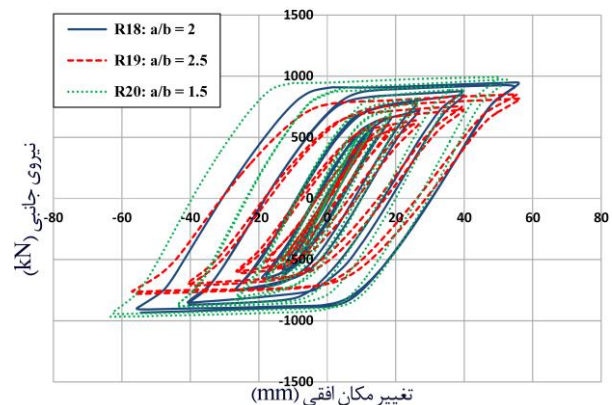


شکل ۲۸- منحنی پوش هیسترسیز نمونه‌های R1، R4 و R7

شکل ۲۹ تغییرات e برای نسبت ابعاد $a/b = 2/5$ ، شدت بیشتری برای تغییرات سختی و مقاومت نسبت به $a/b = 2$ نشان داده است. شکل ۳۰ تغییرات e برای نسبت ابعاد $a/b = 1/5$ ، کمترین

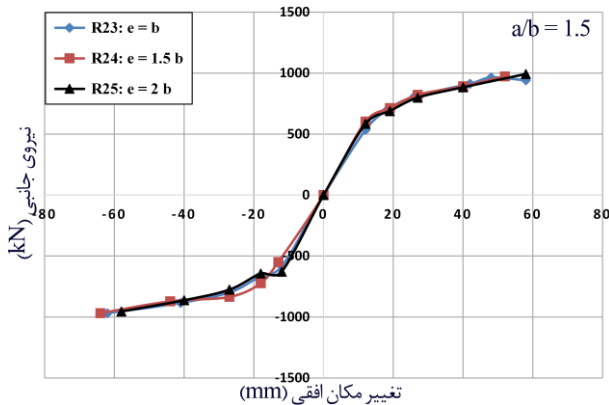
۴-۲-۴- تأثیر نسبت ابعاد بازشوها بر رفتار چرخه‌ای دیوار برشی بازشودار

شکل‌های ۲۶ و ۲۷ منحنی هیسترسیز و پوش هیسترسیز نمونه‌های R18، R19 و R20 را نشان داده‌اند. در این قسمت، مقایسه‌ای بین نسبت ابعاد بازشوها (a/b)، برای سه مقدار ۱/۵، ۲ و ۲/۵ صورت گرفته است سطح بازشوها به ترتیب ۱۴ درصد، ۱۸/۶۵ درصد و ۲۳/۳۱ درصد سطح دیوار در نظر گرفته شده است. از مقایسه منحنی‌ها نتیجه گردید، افزایش نسبت ابعاد بازشوها از ۲ به ۲/۵ با کاهش ۹ درصد ظرفیت باربری در جهت رفت و کاهش ۱۶ درصد در جهت برگشت بارگذاری و کاهش ۱۸ درصد سختی اولیه همراه بوده است. کاهش نسبت ابعاد بازشوها از ۲ به ۱/۵ با افزایش ۵ درصد ظرفیت باربری در جهت رفت و افزایش ۴ درصد در جهت برگشت بارگذاری و افزایش ۳۸ درصد سختی اولیه همراه بوده است. در ادامه در شکل‌های ۲۸ و ۲۹ و ۳۰ منحنی پوش هیسترسیز برای سه نسبت ابعاد بازشو ۲، ۲/۵ و ۱/۵ ارائه شده است. در هر کدام از این شکل‌ها تغییرات a/b با تغییرات e تحقیق شده است.



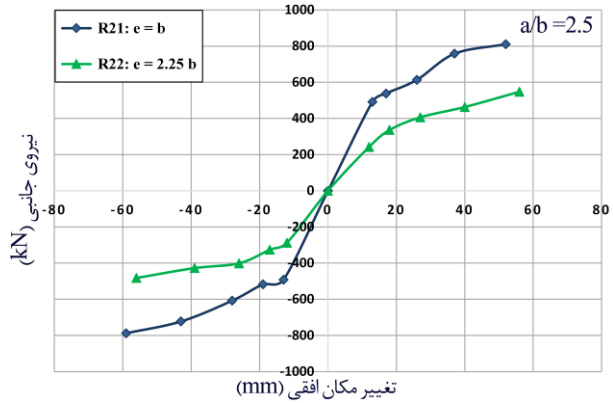
شکل ۲۶- منحنی هیسترسیز نمونه‌های R18، R19 و R20

نموده، دیوار با نسبت ابعاد باز شو ۲/۵ به دلیل بزرگی نسبت ابعاد باز شوها همچون قاب عمل نموده و دیوار با نسبت ابعاد باز شو ۲ دیوار برشی همبند است. شکل ۳۱ نیز کانتورهای مربوط به آسیب دیدگی بتن در فشار را نشان داده است، مشاهده گردید، بیشترین گسترش آسیب دیدگی مربوط به نمونه R19 با بیشترین سطح باز شو بوده است. در این نمونه تیرهای بین دو باز شو در دو طبقه اول، پاشنه های دیوار و محل اعمال بارگذاری، بیشترین استعداد آسیب دیدگی را نشان داده اند.

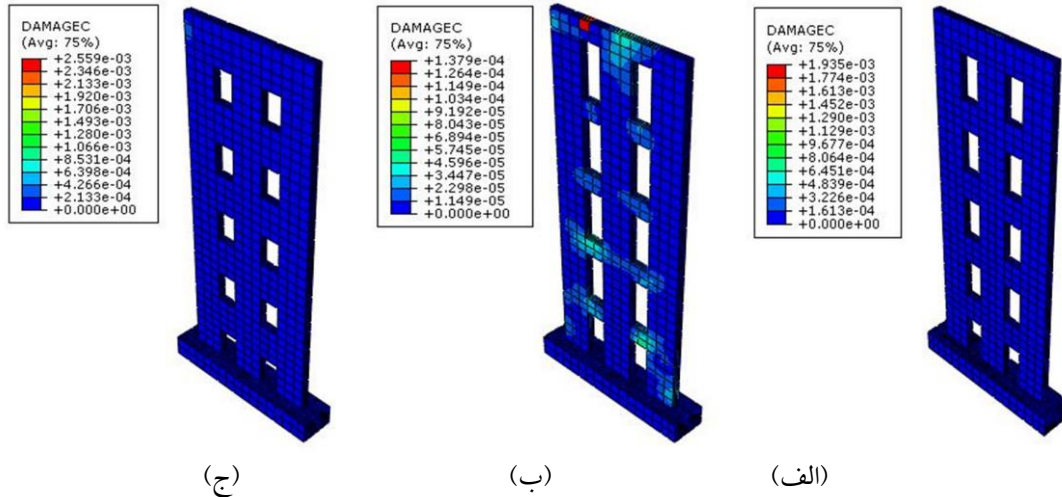


شکل ۳۰- پوش هیسترسیز نمونه های R23، R24 و R25

تغییرات را در مقاومت و سختی نمونه ها نشان داده است. نتیجه گردید، هر چقدر نسبت a/b افزایش یافته تأثیرات تغییر e بر رفتار دیوار بیشتر شده و هر چقدر نسبت a/b کاهش یافته تأثیرات تغییر e کمتر شده است. بنابراین نسبت ابعاد باز شوها (a/b) و فاصله باز شوها از لبه دیوار (e) از هم مستقل نیستند و هر دو به صورت وابسته بر مقاومت و سختی دیوارهای برشی باز شو دار تأثیر گذار بوده اند. همچنین دیوار برشی با نسبت ابعاد ۱/۵ به دلیل کوچک بودن سطح باز شوها همچون دیوار بدون باز شو عمل



شکل ۲۹- منحنی پوش هیسترسیز نمونه های R21 و R22



شکل ۳۱- کانتور آسیب دیدگی بتن در فشار (خرد شدگی) در انتهای تحلیل: (الف) R18 (ب) R19 (ج) R20

۱- افزایش درصد سطح مقطع میلگردهای قائم دیوار برشی بدون باز شو از ۰/۲۵ درصد به ۱ درصد باعث افزایش ۶۱ درصد و ۴۲ درصد ظرفیت باربری دیوار به ترتیب در جهت رفت و برگشت بارگذاری شده و همچنین میزان جذب انرژی نمونه بتنی ۴۲ درصد افزایش یافته است. اما افزایش درصد سطح مقطع میلگردهای افقی دیوار از ۰/۲۵ درصد به ۱ درصد باعث افزایش ۲ درصد و ۵ درصد

۵- نتیجه گیری

تحقیق حاضر، حاصل مطالعه رفتار چرخه ای چندین نوع دیوار برشی بتن آرمه بدون باز شو و دارای باز شو است. دیوارهای که همگی از یک نوع بتن، دارای ابعادی یکسان و تحت بارگذاری چرخه ای قرار گرفته اند. پس از تحقیق و بررسی پارامترهای مورد اشاره نتایج ذیل حاصل شده است.

۷- افزایش نسبت a/b (نسبت ابعاد بازشو) باعث افزایش تأثیرات e (فاصله بازشو از لبه دیوار) بر رفتار دیوار برشی شده و کاهش نسبت a/b باعث کاهش تأثیرات تغییر e شده است. بنابراین نسبت ابعاد بازشوها (a/b) و فاصله بازشوها از لبه دیوار (e) از هم مستقل نیستند و هر دو به صورت وابسته بر مقاومت و سختی دیوارهای برشی بازشودار تأثیر گذار بوده‌اند.

۶- مراجع

- [1] Mosoarca, M. (2014). Failure Analysis of RC Shear Walls with Staggered Opening under Seismic Loads. Journal of Elsevier Engineering Failure Analysis, Vol. 41, pp. 48-60.
- [2] Alarcon, C., Hube, M.A. (2014). Effect of Axial Loads in the Seismic Behavior of Reinforced Concrete Walls with Unconfined Wall Boundaries. Journal of Elsevier Engineering Structures, vol. 73, pp. 13-23.
- [3] Gopalathnam, M., Kumar, M. (2013). Nonlinear Finite Element Dynamic Analysis of Squat Shear Wall with Openings. Journal of Advanced Structural Engineering.
- [4] Wang, J., Sakashita, M., Kono, S., Tanaka, H., and Lou, W. (2010). Behavior of Reinforced Concrete Structural Walls with Various Openings Locations: Experimental and Marco Model. Journal of Zhejiang University-Science A (Applied Physics & Engineering), pp. 202-211.
- [5] Kwan, A.K.H., He, X.G. (2001). Finite Element Analysis of Effect of Concrete Confinement on Behavior of Shear Walls. Journal of Elsevier Computers & Structures, Vol. 79, pp. 1799-1810.
- [6] Su, R., Wong, M. (2007). Seismic Behavior of Slender Reinforced Concrete Shear Wall under High Axial Load Ratio. Engineering Structure, vol. 29, pp. 1957-1965.
- [7] Lin, C.Y., Kuo, C.L. (1988). Behavior of Shear Wall with Opening. Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, vol. IV, pp. 535-540.
- [8] Paulay, T. (1970). An Elasto-Plastic Analysis of Coupled Shear Walls. in: Proceedings, Journal of American Concrete Institute, Vol. 68, No. 11, pp. 915-922.
- [9] ABAQUS User's Manual, ABAQUS Inc., Version 6.14-2, 2014.
- [10] Wahalathantri, B.L., Thambiratnam, D.P., Chan, T.H.T and Fawzia, S. (2011).
- [11] Gilbert, R., Warner, R. (1978). Tension stiffening in reinforced concrete slabs. Journal of the Structural Division, 104(12), 1885-1900.

ظرفیت باربری در جهت رفت و برگشت بارگذاری شده و افزایش ۲ درصد در میزان جذب انرژی نمونه بتنی نسبت به نمونه با حداقل درصد سطح مقطع میلگردهای افقی و عمودی (۰/۲۵ درصد) را نشان داده است. بنابراین حضور ۱ درصد نسبت سطح مقطع میلگرد قائم در دیوار برشی با توجه به ۲ درصد آیین‌نامه مناسب‌ترین میزان درصد سطح مقطع میلگردها جهت افزایش رفتار خمشی دیوار نتیجه شده است.

۲- خرابی دیوارهای برشی بتن آرمه بدون بازشو از پاشنه‌های کششی و فشاری دو طرف دیوار گسترش یافته و خرابی دیوارهای برشی بازشودار از پایه کوچک‌تر اطراف بازشو شروع و با گسترش به تیرهای رابط بین دو بازشو ادامه یافته است.

۳- وجود بازشو در دیوار بتنی به میزان $18/65$ درصد سطح کل دیوار به عنوان مستعدترین میزان درصد سطح بازشو در تحقیق حاضر جهت مطالعه جانمایی بازشوها، موجب کاهش ۲۴ درصد و ۲۸ درصد ظرفیت باربری دیوار به ترتیب در جهت رفت و برگشت بارگذاری و کاهش ۴۳ درصد سختی اولیه دیوار و کاهش ۳۲ درصد میزان جذب انرژی نمونه بازشودار نسبت به نمونه بدون بازشو مشابه شده است.

۴- مقاومت دیوارهای بتنی بازشودار تحت تأثیر فاصله بازشوهای متفاوت از لبه دیوار، اختلاف ۱۷ درصد بین نزدیک‌ترین بازشو با فاصله $e = 0/5 b$ و دورترین بازشو با فاصله $e = 2 b$ از لبه دیوار نشان داده‌اند. همچنین سختی دیوارهای بتنی بازشودار متأثر از فاصله بازشو از لبه دیوار و بازشو مجاور است، به نحوی که بازشو با کمترین فاصله از لبه دیوار $(e = 0/5 b)$ و بیشترین فاصله از بازشو مجاور، ۴۰ درصد کاهش سختی نسبت به نمونه بدون بازشو نشان داده است. بنابراین مشاهده گردید مناسب‌ترین دیوار برشی بازشودار با درصد بازشوهای برابر از نظر مقاومت و سختی، دیواری است که بازشوها به اندازه $e = 1/5 b$ از لبه دیوار فاصله گرفته‌اند.

۵- نامنظمی چیدمان بازشوهای مستطیلی با نسبت ابعاد بازشو ۲ باعث افزایش ۸ درصد مقاومت و ۱۲ درصد سختی دیوار نسبت به حالت چیدمان منظم بازشوها با فاصله بازشو $e = 0/5 b$ شده است.

۶- افزایش نسبت ابعاد بازشوها از ۲ به $2/5$ باعث کاهش ۹ درصد ظرفیت باربری و کاهش ۱۸ درصد سختی اولیه شده و کاهش نسبت ابعاد بازشوها از ۲ به $1/5$ باعث افزایش ۵ درصد ظرفیت باربری و افزایش ۳۸ درصد سختی اولیه شده است.

[۱۲] مستوفی نژاد، د. (۱۳۸۶)، سازه‌های بتن آرمه (جلد دوم). انتشارات ارکان دانش، اصفهان.

[۱۳] شیرنشان، الف.، بهفرنیا، ک. (۱۳۹۳)، بررسی رفتار لرزه‌ای دیوار برشی بتنی دارای بازشو، مجموعه مقالات هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، بابل، ایران، ۱۷ و ۱۸ اردیبهشت.

[14] Su, R., Wong, M. (2007). Seismic Behavior of Slender Reinforced Concrete Shear Wall under High Axial Load Ratio. Engineering Structure, vol. 29, pp1957-1965.

Evaluation of the response of reinforced concrete shear walls with openings under cyclic loading

Mohammad Baharloo *

Graduated from the Department of Engineering, Faculty of Engineering, Higher Institute of Aghigh Mehrdad Hejazi

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Isfahan

Abstract

In this paper, the effective parameters on the performance of reinforced concrete shear walls, such as the amount of longitudinal and transverse rebars, openings, opening aspect ratio, Regular and irregularly aligned openings at the height of the wall and opening distance from the edge of the wall have been studied and the most appropriate parameters for the reinforced concrete shear wall have been provided. Reinforced concrete shear walls of $0.35 \times 6.5 \times 16.5 \text{ m}^3$ have been under cyclic loading and a concentrated monotonic load at the top. Non-linear finite element analysis using the ABAQUS code has been performed. Concrete damage plasticity model has been used. A wall with no openings and with minimum longitudinal and transverse reinforcement of has been considered as the control sample and other samples have been compared with it through measures such as load bearing capacity, dissipated energy, and cracking and crushing distributions and patterns. The results show that the presence of openings in concrete shear walls in the amount of 18.65% of the wall surface caused a reduction of 24% resistance and 43% of the initial hardness of the opening wall compared to the sample without opening, irregularly of the opening at the wall height increased by 8% Resistance and 12% hardness of the wall. Also, the strength and hardness of the opening specimens were the distance between the opening and the edge of the wall and the adjacent opening, so that the most suitable openings for the shear wall in terms of strength and hardness were a wall with openings up to 1.5 times its width from the edge of the wall.

Keywords: Reinforced concrete shear wall, Nonlinear analysis, Opening, Failure Mechanism, Finite Element Method.

* Corresponding Author: mohammadbaharloo69@gmail.com

