

مطالعه تاثیر شکل و موقعیت باز شو در مدلسازی دیوار برشی بتن مسلح

اشکان ابراهیم خانی^{۱*}، عطیه فراهانی^۲، رضوانه کرمی فعلی^۱

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه، موسسه آموزش عالی فخر رازی ساوه

۲- دکتری مهندسی عمران گرایش سازه دانشگاه تهران، مدرس موسسه آموزش عالی فخر رازی ساوه

آدرس پست الکترونیکی نویسنده رابط (ashkanebrahimkhani@gmail.com)

چکیده

دیوارهای برشی بتن مسلح با دارا بودن خصوصیات همچون، سختی زیاد، عملکرد مناسب در زلزله، شکل پذیری و ظرفیت باربری بالا در مناطق لرزه خیز به عنوان یک سیستم سازه‌ای مناسب و مطمئن جهت مقابله با نیروهای جانبی زلزله در ساختمان‌های بتن مسلح متوسط و بلند مرتبه در سطح وسیع مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از طرفی به علت محدودیت معماری وجود باز شو در دیوار برشی غیر قابل اجتناب بوده و دیوار برشی توپر و دارای باز شو در ساختمان‌های بتن مسلح مورد استفاده قرار می‌گیرد. ایجاد باز شو در دیوار برشی بتن مسلح به‌ویژه در مسیر انتقال بار می‌تواند تاثیر زیادی بر رفتار دیوار داشته باشد. هدف از بررسی در این مقاله بررسی تاثیر شکل و مکان باز شو بر روی دیوار برشی به همراه باز شو با استفاده از نرم‌افزار اجزاء محدود ABAQUS می‌باشد.

در این مقاله دیوار برشی به ابعاد ۷۵۰ در ۷۵۰ میلیمتر و بازشوهایی به مساحت ۱۰ درصد از مساحت دیوار برشی بتنی به شکل‌های دایره، مثلث و مستطیل واقع در مرکز و گوشه دیوار برشی مدلسازی شده است. نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از آن است که مقایسه شکل‌ها و موقعیت‌های مختلف بازشوها روی عملکرد نیرویی و بررسی آسیب فشاری و کششی بوجود آمده بر دیوار برشی بتن مسلح، نشان می‌دهد، بهترین عملکرد بعد از دیوار برشی بتن مسلح بدون باز شو برای دیوار برشی با باز شو دایره می‌باشد و ضعیف‌ترین عملکرد در دیوار برشی با باز شو مثلثی به دلیل تمرکز تنش در گوشه‌ها با زاویه حاده مشاهده می‌شود.

کلمات کلیدی: دیوار برشی بتن مسلح، باز شو، روش اجزاء محدود،

Study of Shape and Location Effect of Opening on Reinforced Concrete Shear Wall Modeling

Ashkan EbrahimKhani^{1*}, Atiye Farahani², Rezvaneh Karami¹

۱- M.Sc. Student of Structural Engineering, Fakhr Razi Institute, Saveh, Iran.

2- Ph.D. in Structural Engineering, School of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran, Professor in Fakhr Razi Institute

Abstract

Reinforced Concrete Shear Walls with properties such as high stiffness, proper operation in earthquake, Ductility and high carrying capacity in seismic zones as a suitable and reliable structural system for dealing with earthquake lateral forces in concrete buildings in a wide area has been used on the other hand, due the limited architectural existence, the opening in the shear walls are inevitable and a shear wall is used in Concrete buildings. Creating an opening in the shear RC wall, especially in the load transfer path, can have a great influence on the behavior of the wall. In this article, using ABAQUS finite element software, the effect of creating an opening with various shapes and positions on the shear wall structure has been investigated.

In this Article, the shear wall is 750 to 750 mm in size and opening with 10% area of the concrete shear wall are modeled to a circular and triangular opening and a rectangular in the center of the shear wall. According to the results of this research, it can be seen that, due to the comparison of different forms, The best performance after shear wall Without opening is a shear wall with a circular opening.

Keywords:

Reinforced Concrete Shear Wall, Opening, Finite Element Method.

۱. مقدمه

امروزه به خوبی می‌توان از دیوار برشی در کنار قاب‌های خمشی به نحوی استفاده کرد که رفتار مجموعه سازه نرم، مقاوم و شکل‌پذیر باشد. دیوارهای برشی قادرند بیشترین سهم نیروی برش پایه را تحمل کنند، که موجب افزایش چشمگیر سختی ساختمان و کاهش قابل ملاحظه خسارت به عناصر غیر سازه‌ای می‌گردند و همچنین، دیوار برشی قادر است حتی پس از پذیرش ترک‌های زیاد، بارهای ثقیلی ساختمان را تحمل کند، که ستون‌ها فاقد چنین خاصیتی هستند و در کل چنین عواملی در کنار اقتصادی‌تر بودن استفاده از سیستم دیوار برشی در ساختمان‌ها را بسیار مهم و کارآمد کرده و مورد توجه زیاد کارشناسان امر قرار گرفته است. برخی محدودیت‌ها و الزامات معماری و محدودیت‌های تاسیساتی، مهندسین محاسب را مجبور به تعبیه بازشو در دیوار برشی می‌نماید. خصوصاً در سازه‌های بلند دارای هسته مرکزی بتنی، پیرامون اتاق آسانسور و یا در طبقات در جاهایی که نیاز به بازشوهایی از قبیل در و پنجره وجود دارد، وجود بازشو در دیوار برشی، اجتناب ناپذیر است. [۱]

به دلیل اهمیت موضوع تحقیقات زیادی روی تاثیر بازشوها صورت گرفته است. [۲ و ۳]

در سال ۲۰۰۳ [۴] کیم دیوار برشی بازشودار را مورد بررسی قرار دادند نتایج عددی به دست آمده از این تحقیق انطباق خوبی با نتایج آزمایشگاهی نشان داده است که نشانگر توانمندی روش اجزاء محدود در پیش بینی رفتار دیوار برشی بازشودار می‌باشد. یکی از اولین مطالعات بر روی تقویت دیوار برشی دارای بازشو توسط الیاف کامپوزیتی توسط شوگی یاما انجام شده است. این آزمایش‌ها بر روی ۸ مدل آزمایشگاهی دیوار غیر سازه‌ای با مقایس ۱ به ۳ انجام و خرابی نمونه‌ها با شکست برشی و جدا شدن ورق CFRP از سطح بتن گزارش شده است. به منظور اطمینان از صحت روش اجزاء محدود در پیش بینی رفتار دیوار برشی بازشودار نیز در سال ۲۰۰۳ کیم و در سال ۲۰۱۱ حشی دیوار برشی بازشودار را مورد بررسی قرار دادند نتایج عددی به دست آمده از این تحقیق انطباق خوبی با نتایج آزمایشگاهی نشان داده است که نشانگر توانمندی روش اجزاء محدود در پیش بینی رفتار دیوار برشی بازشودار می‌باشد.

زارعی و ایزدی نیا [۵] به بررسی اثر بازشو و تقارن و عدم تقارن بازشوها بر دیوار برشی در ساختمان ۲۰ طبقه تحت آنالیز استاتیکی فزاینده غیرخطی پرداختند و مقاومت نهایی متناظر با هر دیوار متناسب با نوع بازشو با حالت بدون بازشو مقایسه کرده‌اند. مدل‌ها به صورت ۲۰ طبقه و ارتفاع طبقات ۳ متر است. بازشوها همه مربع در ابعاد ۱، ۱/۵ و ۲ متر می‌باشد و مکان بازشوها یک بار در مرکز دیوار و سه بار دیگر، مرکز بازشو با مرکز دیوار فاصله ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر دارد. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که در تغییر محل قرارگیری بازشوها، بیشترین مقاومت نهایی را دیوارهایی دارند که بازشوهای آن‌ها در مرکز واقع شوند، هرچه عدم تقارن بازشوها بیشتر شود، مقاومت نهایی کاهش می‌یابد. با افزایش درصد بازشو، فاصله‌گیری زیاد از محور مرکزی دیوار توصیه نمی‌شود. همچنین، در حالتی که بازشو در مرکز دیوار واقع باشد مقاومت نهایی دیوارها چندان تابع بازشو نمی‌باشد. در حالت‌هایی که وجود بازشو سبب شود که دیوار رفتار کوپل پیدا کند ممکن است دیوار رفتار مناسب تری پیدا کرده و حتی مقاومت نهایی آن را افزایش یابد.

شابختی و سعادت [۶] به بررسی تاثیر بازشو و همچنین تاثیر میزان آرماتورگذاری، بر رفتار غیر ارتجاعی و سطح عملکرد دیوارهای برشی می‌باشد. در این تحقیق ساختمان ۴، ۸ و ۱۲ طبقه با ارتفاع هر طبقه ۳ متر و ابعاد بازشو ۱×۳ متر یک بار با حداقل آرماتور و یک بار با حداکثر آرماتور مدل شده و نتایج با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد، چنانچه دیوارهای برشی دارای بازشو به نحوی طراحی شوند که تیرهای کوپله قبل از دیوارها جاری شوند، این تیرها نه تنها نقطه ضعف دیوارها نیستند، بلکه در مقابل بارهای جانبی بزرگ، به منزله فیوز عمل می‌کنند و قبل از آنکه دیوار که وظیفه انتقال بار جانبی و قائم را دارد، صدمه قابل توجهی ببیند می‌شکنند، که این خود موجب استهلاک انرژی زیاد و شکل‌پذیری بالاتر در حرکات رفت و برگشتی در طی زلزله می‌شود که ویژگی بسیار مطلوبی در رفتار سازه است.

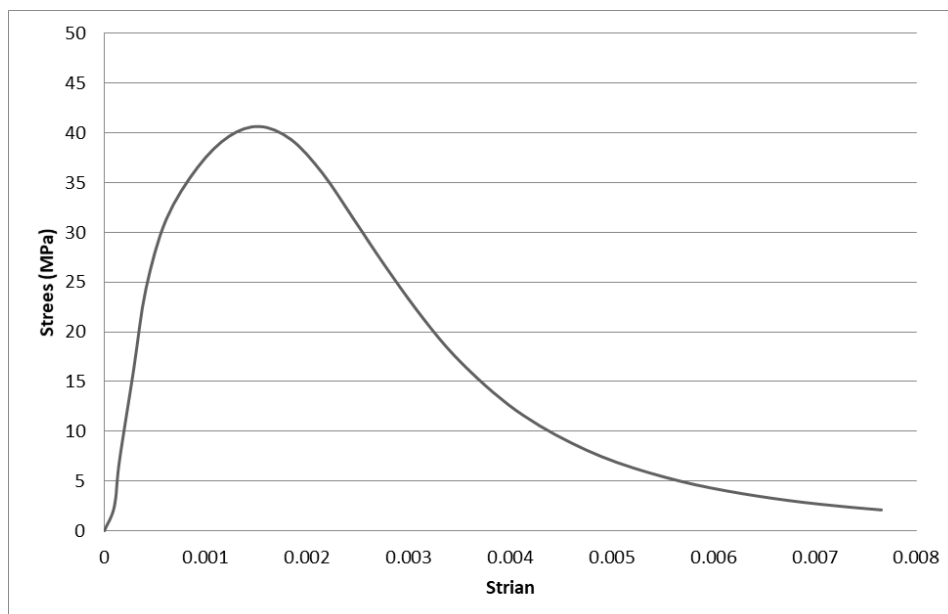
ژانگ و وانگ [۷] در یک مطالعه تجربی مکانیزم شکست در شکل‌پذیری دیوار برشی بتن مسلح مستطیلی را تحت بارگذاری محوری بالایی بررسی کردند. چهار مدل دیوار بلند و باریک ساختند و برای شکست تحت عمل ترکیب بار محوری ثابت و بارگذاری جانبی چرخه ای معکوس شده مورد آزمایش قرار دادند. هدف از این آزمایش بررسی اثر پارامترهای مختلفی چون نسبت بار محوری و نسبت فشار برشی به رفتار دیوارهای برشی بتن مسلح بود. همه نمونه‌ها بر اساس این فلسفه که ظرفیت بار جانبی به وسیله خمش کنترل می‌شود تا از شکست برشی پیش از موعد در طی آزمایش پیشگیری شود، طراحی شدند. در نهایت نسبت بار محوری برای داشتن یک اثر قابل توجه بر الگوی ترک خوردگی، مقاومت خمشی، مود شکست و شکل‌پذیری دیوارهای برشی بتن مسلح یافت شد.

ژائو و همکاران [۸] به بررسی تاثیر ارتفاع تیر کوپله و درصد آرماتور برشی آن در آزمایشگاه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تیرهای کوپله با نسبت دهانه به ضخامت کمتر از ۲ شبیه تیرهای عمیق رفتار می‌کنند و در برش دچار شکست می‌شوند. همچنین به این نتیجه رسیدند که تیرهای کوپله با درصد آرماتور برشی کمتر دچار گسیختگی برشی-کششی می‌شوند اما نمونه‌های با آرماتور برشی بیشتر، اغلب دچار گسیختگی لغزشی-برشی می‌شوند و دارای شکستی ترد هستند.

۲. مشخصات مصالح

مشخصات بتن و فولاد جهت مدلسازی و صحت‌سنجی در نرم‌افزار اجزاء محدود ABAQUS معرفی خواهد شد. بتن دارای مقاومت فشاری $40/6$ نیوتن بر میلیمترمربع، ضریب پواسون $0/15$ و ضریب الاستیسیته 28 کیلو نیوتون بر میلیمترمربع در نظر گرفته شده است. همچنین، فولاد دارای ضریب پواسون $0/3$ و ضریب الاستیسیته 210 کیلو نیوتون بر میلیمترمربع در نظر گرفته شد. [۹]

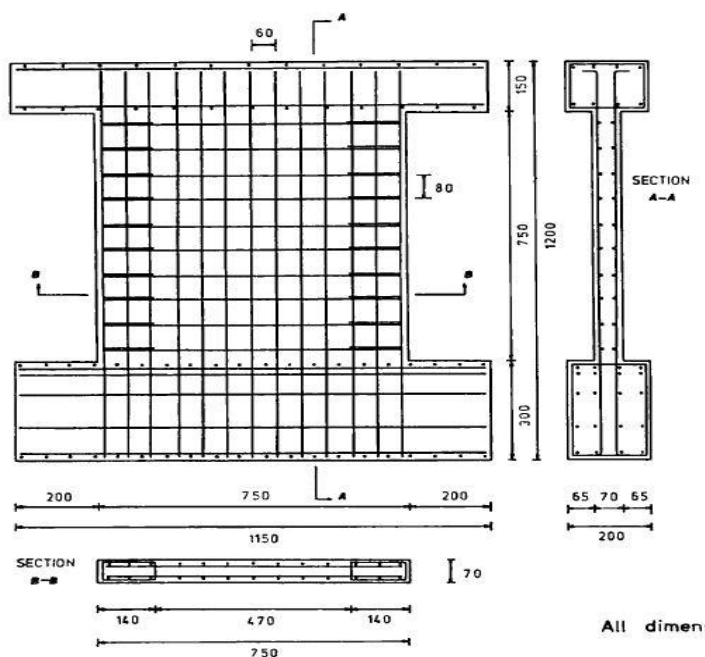
رفتار غیر خطی بتن هم از نوع پلاستیسیته آسیب دیده بتن به نرم‌افزار اجزاء محدود طبق شکل (۱) معرفی شده است. همچنین رفتار غیر خطی فولاد از نوع پلاستیک کامل با رفتار دوطرفه با مقدار 520 مگاپاسگال برای تنش تسلیم و 610 مگاپاسگال، برای تنش میلگردهای عرضی و تنش تسلیم و نهایی میلگرد طولی به ترتیب 470 و 568 استفاده شده است. همچنین تنش تسلیم میلگردهای استفاده شده در دیوار برشی به عنوان خاموت برابر با 420 و تنش نهایی 490 می‌باشد.



شکل (۱) نمودار تنش و کرنش بتن

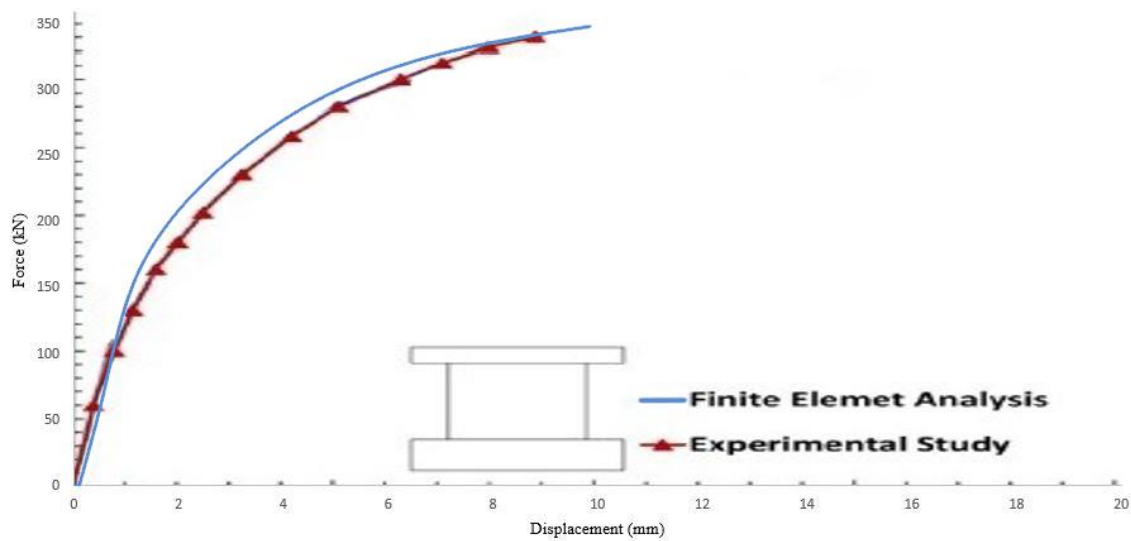
۳. صحت سنجی

به منظور اطمینان از نتایج حاصل از مدل‌سازی، مدل‌های ساخته شده بر اساس کار لیفاس و همکاران [۹] در سال ۱۹۹۰، صحت‌سنجی، مدل‌سازی انجام شده است. شکل (۲) جزئیات مدل آزمایشگاهی لیفاس و همکاران را نشان می‌دهد.



شکل (۲) جزئیات مدل آزمایشگاهی لیفاس و همکاران

مقدار بار گسترده سطحی وارده بر سطح تیر بالایی دیوار برشی ۱/۵۳ نیوتون بر میلیمترمربع و همچنین بار جانبی اعمال شده با مقدار ۳۵۰ کیلو نیوتون بر نمونه اعمال شده است. در قسمت انتهایی دیوار برشی تکیه گاه گیردار در نظر گرفته شده است. همانطور در شکل (۳) - نشان داده شده است، منحنی بارافزون (Push over) نمونه مدلسازی شده در نرم افزار اجزاء محدود مطابقت خوبی با اختلاف کمتر از ۸/۵ درصد با منحنی بارافزون مستخرج از نمونه آزمایشگاهی دارد. از دلایل اختلاف بین مدل ساخته شده در نرم افزار اجزاء محدود و مدل آزمایشگاهی می توان به موارد زیر اشاره کرد: (۱) منحنی تغییرمکان حاصل از تحلیل عددی، در قسمت هایی از نمودار نمونه مدلسازی شده، سهم بار بیشتری نسبت به نمونه آزمایشگاهی دارد، این مورد به علت ایده آل در نظر گرفتن مصالح و همچنین با توجه به نبود خصوصیات نمونه آزمایشگاهی در ادبیات فنی می باشد. (۲) به دلیل دقت بالای در نظر گرفتن مشخصات مصالح در نرم افزار نسبت به نمونه آزمایشگاهی، ترک خوردگی فشاری بتن در نرم افزار کمتر از آزمایشگاه مشاهده شده است.



شکل (۳) - نمودار صحت سنجی مدل المان محدود دیوار برشی و نمونه آزمایشگاهی

۴. مدلسازی

در این قسمت به بررسی مشخصات مدل‌ها و معرفی آن‌ها پرداخته شده است. مدل‌ها در ۷ حالت مختلف بررسی شده‌اند. یک قاب دیوار برشی که ابعاد تیر بالای ۲۰ در ۱۵ سانتیمتر به طول ۱۱۵ سانتیمتر و تیر پایینی که همانند فونداسیون برای دیوار برشی عمل می‌کند، ۲۰ در ۳۰ سانتیمتر به طول ۱۱۵ سانتیمتر و دیوار برشی ۷۵ در ۷۵ سانتیمتری در ضخامت ۷۰ میلیمتر نمونه اصلی مدل شده در نرم افزار است. همچنین، میلگردهای مصرفی در تیر بالا ۸ عدد میلگرد با قطر ۶ میلیمتر، تیر پایینی ۲۰ عدد میلگرد با قطر ۶ میلیمتر و در دیوار برشی، میلگردهای طولی هر ۶ سانتیمتر با قطر ۸ میلیمتر و میلگردهای عرضی هر ۸ سانتیمتر با قطر ۶ میلیمتر مدل شده است.

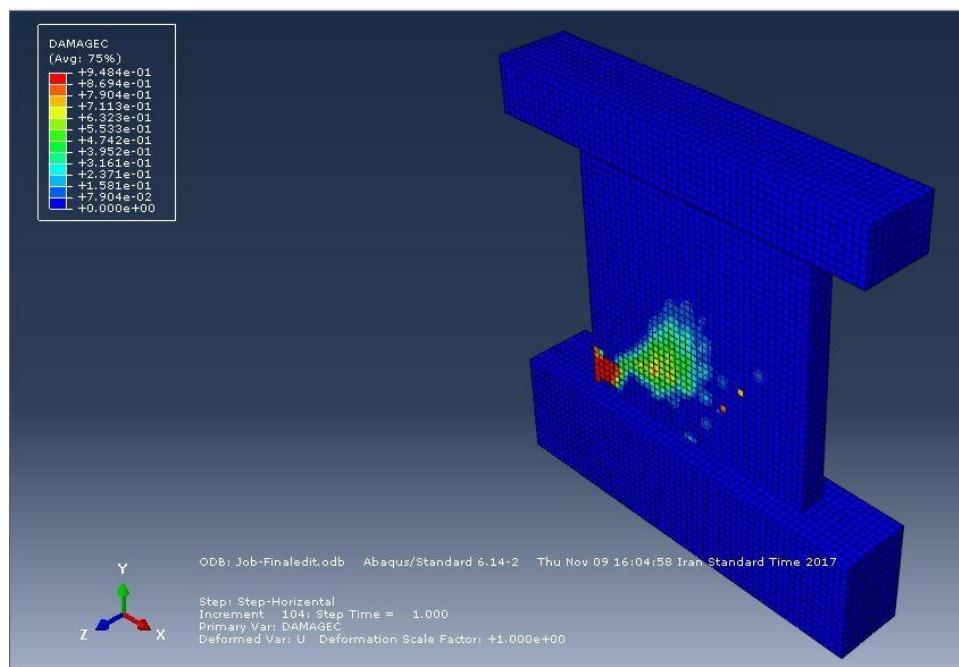
جدول (۱) - مشخصات مدل‌ها

نام نمونه	درصد مساحت بازشو نسبت به مساحت دیوار برشی	شکل بازشو	مکان بازشو
SW1	بدون بازشو	—	—
SW2	۱۰٪	مستطیل	مرکز دیوار برشی
SW3	۱۰٪	دایره	مرکز دیوار برشی
SW4	۱۰٪	مثلث	مرکز دیوار برشی
SW5	۱۰٪	مستطیل	گوشه دیوار برشی
SW6	۱۰٪	دایره	گوشه دیوار برشی
SW7	۱۰٪	مثلث	گوشه دیوار برشی

۵. تجزیه و تحلیل نتایج

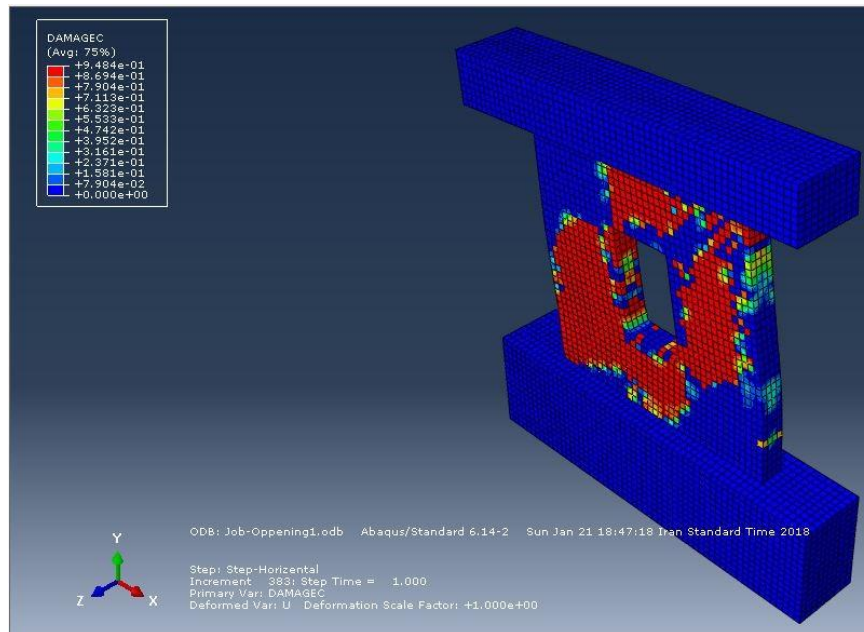
در این بخش نتایج مربوط به مدل‌های دیوار برشی بتن‌آرمه بدون بازشو و با بازشو با اشکال و موقعیت‌های مختلف بازشو مطابق جدول ۱ ارائه می‌شود.

شکل‌های ۱۰-۴ آسیب فشاری ناشی از اعمال بار جانبی بر مدل اجزا محدود دیوار برشی بتن‌آرمه با و بدون بازشو با اشکال و موقعیت‌های مختلف بازشو را نشان می‌دهند.



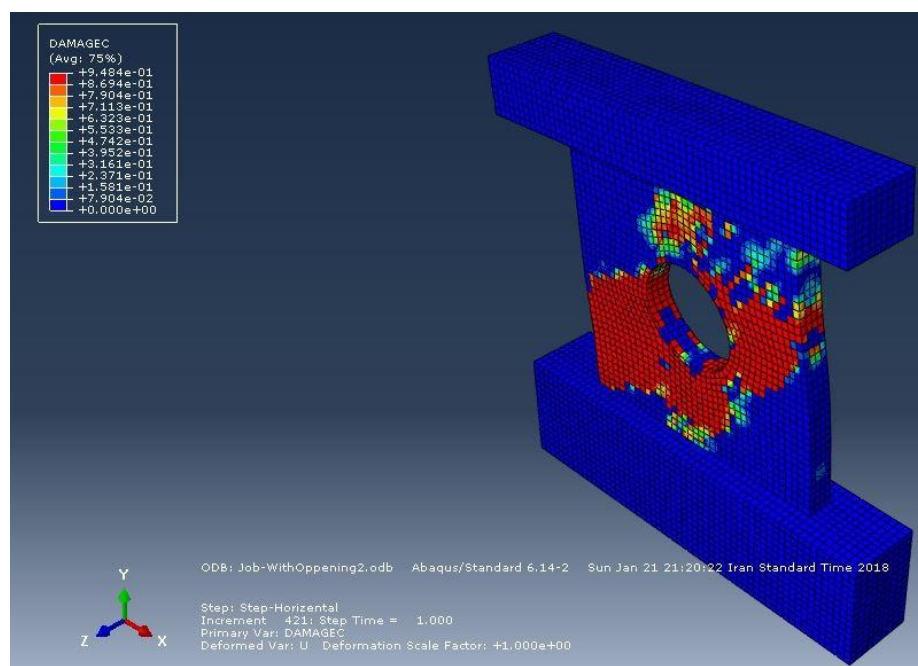
شکل (۴) - آسیب فشاری در بتن نمونه SW1

شکل (۴) - آسیب فشاری بتن ناشی از اعمال بار جانبی بر دیوار برشی بدون بازشو را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود در قسمتی که دیوار برشی بتنی در فشار است بیشتر شده و به سمت بالا و مرکز دیوار حرکت می‌کند. بار جانبی هم از قسمت راست دیوار برشی بتنی اعمال شده.



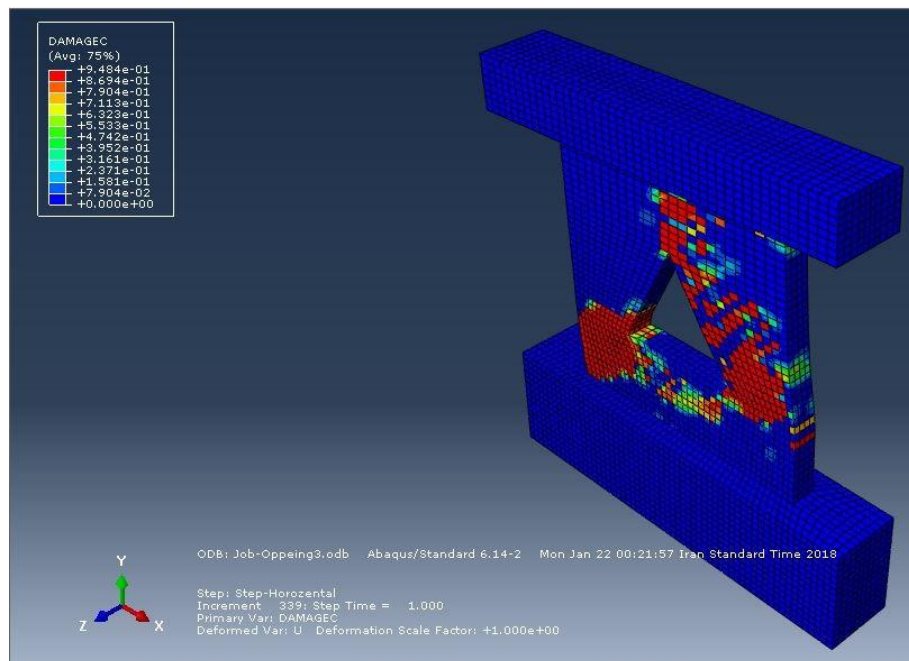
شکل (۵) - آسیب فشاری در عضو بتنی در نمونه SW2

شکل (۵) - آسیب بتن ناشی از اعمال بار جانبی بر دیوار برشی با بازشو با سطح 10% و به شکل مستطیل واقع در مرکز دیوار برشی را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود آسیب‌های فشاری در دیوار برشی بازشو دار معمولاً در گوشه‌های بازشو بیشترین حالت را دارد و همچنین در گوشه چپ دیوار برشی که در فشار قرار دارد آسیب بیشتری به بتن دیوار برشی وارد می‌شود.



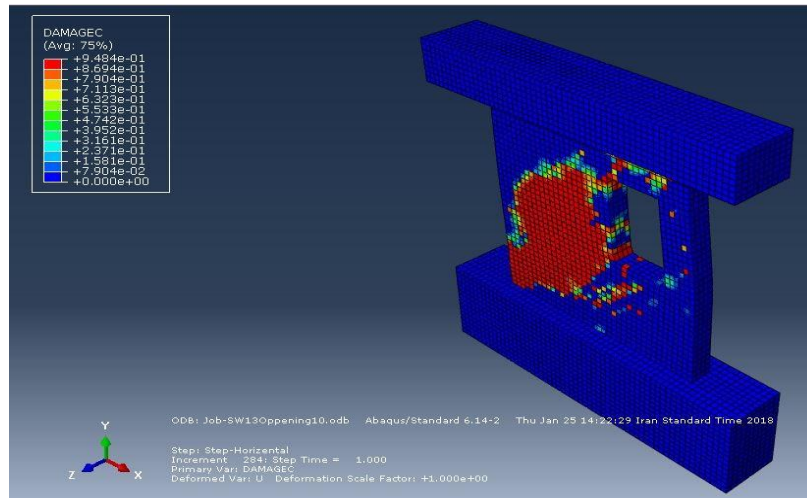
شکل (۶) - آسیب فشاری در عضو بتنی در نمونه SW3

شکل (۶) - آسیب فشاری ناشی از اعمال بار جانبی بر دیوار برشی با بازشو با سطح ۱۰٪ و به شکل دایره واقع در مرکز دیوار برشی را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود در اطراف بازشو بیشتر است و این آسیب‌ها از سمت چپ دیوار برشی شروع شده و با بیشتر شدن بار جانبی اطراف بازشو را در بر می‌گیرد.



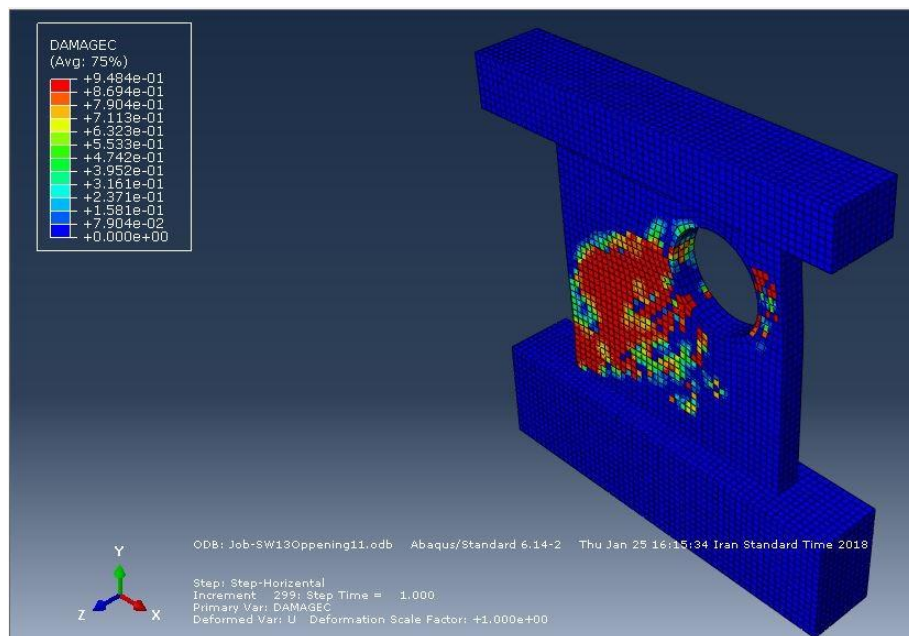
شکل (۷) - آسیب فشاری در عضو بتنی در نمونه SW4

شکل (۷) - آسیب بتنی ناشی از اعمال بار جانبی بر دیوار برشی با بازشو با سطح ۱۰٪ و به شکل مثلث واقع در مرکز دیوار برشی را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود آسیب فشاری از سمت چپ دیوار برشی شروع شده و به سمت گوشه‌های بازشو حرکت می‌کند، در مقایسه با دیگر شکل‌ها آسیب‌های فشاری به صورت متمرکز در گوشه‌های مثلث به وجود آمده است.



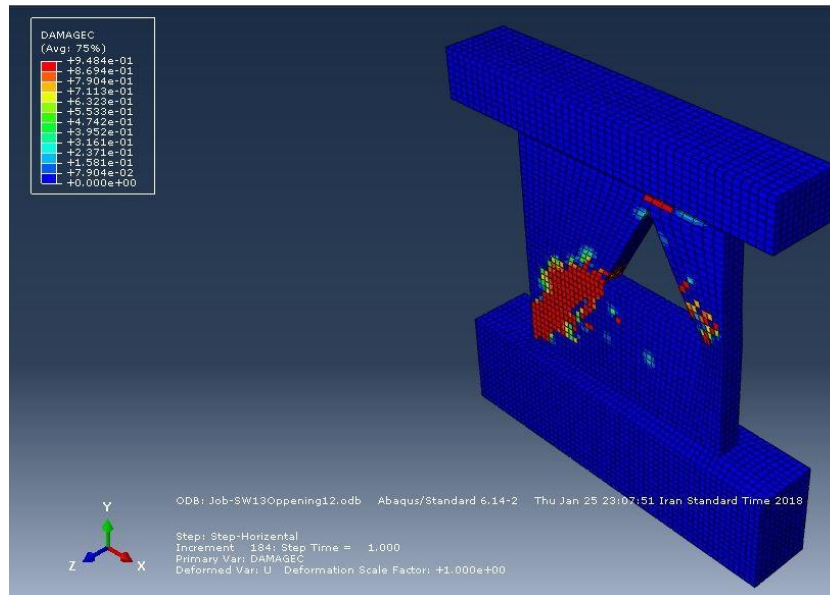
شکل (۸) - تنش در عضو بتنی در نمونه SW5

شکل (۸) - آسیب فشاری ناشی از اعمال بار جانبی بر دیوار برشی با بازشو با سطح 10% و به شکل مستطیل واقع در گوشه دیوار برشی را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود آسیب فشاری از سمت چپ دیوار برشی شروع شده و تا گوشه‌های بازشو حرکت می‌کند. به دلیل وجود بازشو در گوشه، آسیب فشاری بیشتری در مقایسه با دیوار برشی بتنی بدون بازشو در سطح میانی دیوار برشی بتنی بوجود می‌آید.



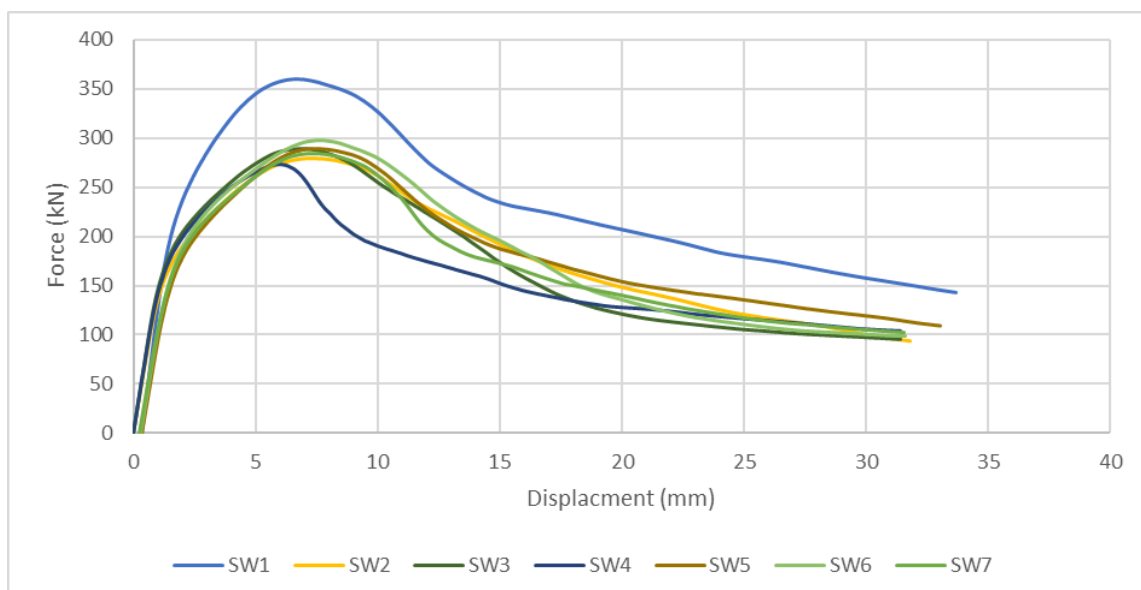
شکل (۹) - تنش در عضو بتنی در نمونه SW6

شکل (۹) - آسیب فشاری ناشی از اعمال بار جانبی بر دیوار برشی با بازشو با سطح 10% و به شکل دایره واقع در گوشه دیوار برشی را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود همانند بازشو مستطیلی واقع در گوشه دیوار برشی بتنی آسیب‌ها از سمت چپ دیوار برشی شروع شده و به سمت اطراف بازشو حرکت می‌کنند.



شکل (۱۰) - آسیب فشاری در عضو بتنی در نمونه SW7

شکل (۱۰) - آسیب فشاری ناشی از اعمال بار جانبی بر دیوار برشی با بازشو با سطح 10% و به شکل مثلث واقع در گوشه دیوار برشی را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود همانند مدل‌ها آسیب فشاری از سمت چپ شروع شده و به اطراف گوشه بازشو حرکت کرده است.



شکل (۱۱) - مقایسه نمودار بارافزون مدل‌های اجزاء محدود

شکل (۱۱)- مقایسه نمودار بارافزون مدل‌های اجزا محدود تهیه شده مطابق جدول (۱)- را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۱۱)- مشاهده می‌شود و قابل انتظار است، مدل اجزاء محدود دیوار برشی بدون بازشو به لحاظ نیرویی و شکل‌پذیری عملکرد بهتری را نسبت به سایر مدل‌های دیوار برشی با بازشو از خود نشان می‌دهد. به طوریکه، دارای حداکثر ظرفیت نیرویی در حدود ۳۵۰ کیلونیوتن می‌باشد که از مدل‌های با بازشو در حدود ۱۷ درصد بیشتر است. مقایسه مدل‌های دیوار برشی با بازشو در شکل (۱۱)- نشان می‌دهد که مدل SW4 یا مدل دیوار برشی با ۱۰ درصد بازشوی مثلثی شکل در مرکز دیوار دارای سطح زیر نمودار بارافزون کمتر یا دارای جذب انرژی کمتر می‌باشد. سایر مدل‌های دیوار برشی با بازشو دارای عملکرد مشابه به لحاظ تحمل نیرو و شکل‌پذیری می‌باشند. البته ناگفته نماند که بازشوهایی که در گوشه دیوار برشی قرار دارند، تنش بیشتر و آسیب بیشتری طبق خروجی‌های نرم افزار تحمل می‌کنند. به این دلیل که آسیب فشاری و تنش از گوشه دیوار برشی شروع شده و به سمت گوشه‌های بازشو حرکت می‌کند، به همین دلیل در بازشوهایی که در گوشه قرار دارد به نسب بازشوهایی که در مرکز قرار دارد مسافت بیشتری را طی می‌کند تا به گوشه‌های بازشو برسند. باید توجه داشت که درصد مساحت بازشو نسبت به سطح دیوار برشی در کلیه مدل‌ها مشابه است. به نظر می‌رسد بازشوی با شکل مثلث به دلیل تمرکز تنش در گوشه‌ها با زاویه حاده عملکرد خوبی از خود نشان نمی‌دهد.

جدول (۲)- مقایسه عملکرد دیوار برشی با توجه به حداکثر نیروی برش پایه را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار تحمل نیرو در دیوار برشی بتنی بدون بازشو دیده می‌شود، سپس به ترتیب دیوار برشی با بازشو دایره در مرکز، دیوار برشی با بازشو مستطیل در گوشه، دیوار برشی با بازشو مستطیل در مرکز و دایره در گوشه، دیوار برشی با بازشو مثلث در گوشه، دیوار برشی با بازشو مثلث در مرکز عملکرد تحمل نیرو روند کاهشی داشته است. دیوار برشی با بازشو دایره واقع در مرکز دیوار برشی با مساحت ۱۰ درصد سطح دیوار، قابلیت تحمل حداکثر برش پایه نسبت به دیوار برشی بدون بازشو ۲۰ درصد کاهش یافته است که بهترین عملکرد سازه‌ای را بعد از دیوار برشی بدون بازشو از خود نشان داده است. همچنین، دیوار برشی با بازشو مثلث واقع در مرکز دیوار با مساحت ۱۰ درصد سطح دیوار، قابلیت تحمل حداکثر برش پایه نسبت به دیوار برشی بدون بازشو ۲۴ درصد کاهش یافته است که ضعیف‌ترین عملکرد سازه‌ای را نسبت به سایر دیوارهای برشی از خود نشان داده است. دیوار برشی با بازشو مستطیل واقع در مرکز دیوار برشی با مساحت ۱۰ درصد سطح دیوار، قابلیت تحمل حداکثر برش پایه نسبت به دیوار برشی بدون بازشو ۲۲ درصد کاهش یافته است.

جدول (۲)- حداکثر برش پایه در مدل‌های دیوار برشی بتن مسلح

مدل	توضیحات مدل	برش پایه ماکزیمم (کیلو نیوتن)	درصد نسبت مساحت بازشو به مساحت دیوار برشی
SW1	بدون بازشو	۳۶۰	—
SW2	بازشوی مستطیل مرکزی	۲۷۹	۱۰
SW3	بازشوی دایره مرکزی	۲۸۸	۱۰
SW4	بازشوی مثلث مرکزی	۲۷۳	۱۰
SW5	بازشوی مستطیل گوشه	۲۸۶	۱۰
SW6	بازشوی دایره گوشه	۲۷۹	۱۰
SW7	بازشوی مثلث گوشه	۲۷۸	۱۰

۶. نتیجه گیری

- مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج مدلسازی‌ها نشان می‌دهد که نرم‌افزار المان محدود ABAQUS قابلیت مدلسازی کلیه اعضای سازه‌ای مانند دیوارهای برشی بتن آرمه را دارد و صرف هزینه برای ساخت نمونه آزمایشگاهی در مقیاس بزرگ نیاز نیست.

- با توجه به مدلسازی صورت گرفته در این تحقیق، در نمونه‌های دیواربرشی می‌توان به این نتیجه رسید که وجود بازشوها با اشکال مختلف، بر روی سختی و مقاومت نمونه‌ها تأثیرگذار بوده و همانگونه که انتظار می‌رود دیوار برشی فاقد بازشو دارای عملکرد بهتری به لحاظ نیرویی و شکل‌پذیری و ظرفیت جذب انرژی از دیوار برشی دارای بازشو می‌باشد.

- مقایسه اشکال مختلف بازشوها در دیوار برشی نشان می‌دهد، بازشو دارای گوشه‌های با زاویه حاده، عملکرد مناسبی نداشته و بازشو دایره عملکرد بهتری به لحاظ تحمل نیرو و شکل‌پذیری از خود نشان می‌دهد. بطوریکه، به دلیل تمرکز تنش در گوشه‌ها با زاویه حاده، شکست بتن مشاهده می‌شود.

- نتایج مدلسازی نشان داد، بازشوهایی که در مرکز قرار دارند عملکرد بهتری دارند. همچنین، بازشوهایی که در گوشه دیوار برشی قرار دارند تغییر مکانی به نسبت کم، ولی آسیب بتنی زیادی دارند؛ دلیل این موضوع این است که آسیب‌ها از گوشه دیوار برشی شروع شده و به سمت گوشه بازشو حرکت می‌کند.

- بهترین عملکرد بازشو در دیوار برشی بتن آرمه مربوط به بازشو دایره‌ای نزدیک به مرکز دیوار برشی می‌باشد.

- دیوار برشی با بازشو دایره واقع در مرکز دیوار برشی با مساحت ۱۰ درصد سطح دیوار، قابلیت تحمل حداکثر برش پایه نسبت به دیوار برشی بدون بازشو ۲۰ درصد کاهش یافته است که بهترین عملکرد سازه‌ای را بعد از دیوار برشی بدون بازشو از خود نشان داده است. همچنین، دیوار برشی با بازشو مثلث واقع در مرکز دیوار با مساحت ۱۰ درصد سطح دیوار، قابلیت تحمل حداکثر برش پایه نسبت به دیوار برشی بدون بازشو ۲۴ درصد کاهش یافته است که ضعیف‌ترین عملکرد سازه‌ای را نسبت به سایر دیوارهای برشی از خود نشان داده است.

۷. مراجع

- [۱]. خانلو، مهدی و محمد کیاکجوری، (۱۳۹۴)، بررسی ابعاد بازشوی جان در رفتار استاتیکی دیوارهای برشی در ساختمان های بتنی، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و زیرساخت های شهری، تبریز، دبیرخانه دائمی کنفرانس.
- [۲]. خانمحمدی، محمد و آرین دادگر، (۱۳۹۱)، بررسی دقت روشهای تحلیل جاری در مدلسازی دیوار برشی بتنی با بازشو، نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- [۳]. Wang J, et al. (2010), " Behavior of reinforced concrete structural walls with various opening locations: experiments and macro model", Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering).
- [4]. Kim, H.S, Lee, D.G., (2003) "Analysis of shearwall with openings using super elements, Elsevier, Engineering Structures, 981-991.
- [۵]. ع. زارعی و م. ایزدی نیا، (۱۳۹۰)، "تأثیر درصو بازشو و آرایش بازشوها در مقاومت نهایی دیوار برشی بتنی"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ایران، سمنان.
- [۶]. شایختی، ناصر و علی حشمتی سعادت، (۱۳۸۷)، بررسی رفتار غیرخطی دیوار برشی بتنی دارای بازشو به روش طراحی بر اساس سطح عملکرد، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه تهران
- [۷]. Yunfeng Zhang and Zhihao Wang, (2000) "Seismic Behavior of Reinforced Concrete Shear Walls Subjected to High Axial Loading" ACI Structural Journal/September-October , Title no.97-S75.
- [8]. Z.Z. Zhao, A.K.H. Kwan, (2004) X.G. He, Nonlinear finite element analysis of deep reinforced concrete coupling beams. *Engineering structures*, 24 13-25
- [۹]. Lefas, ID and Kotsovos, MD and Ambraseys, N.N., (1990), "Behavior of reinforced concrete structural walls: strength, deformation characteristics, and failure mechanism", ACI Structure. Journal; Vol 87(1), 23-31.
- [۱۰]. ABAQUS Analysis user's manual, version 6.14.2
- [۱۱]. Aguda G.O, (1991), " Ultimate Strength Tests For Rc Coupled Walls With Openings With Two Bands Of Openings. Thesis For Master Degree", University Of Dundee.
- [۱۲]. A, k, marsono, s, hatami, (2015), "Analysis of Reinforced Concrete Shear Walls with Single Band of Octagonal Openings", KSCE Journal of Civil Engineering, July 2016, Volume 20, Issue 5, pp ۱۸۸۷-۱۸۹۴.
- [۱۳]. M, Masood, I, Ahmed, M, Assas, (2012), " Behavior of Shear Wall with Base Opening", *Jordan Journal of Civil Engineering*, Volume 6, No. 2, 2012
- [۱۴]. داوود مستوفی نژاد، (۱۳۹۶) "سازه های بتن آرمه" انتشارات ارکان دانش
- [۱۵]. استاندارد ۲۸۰۰، (۱۳۹۳) زیر ذره بین، انتشارات سری عمران.