

مطالعه تاثیر شکل و موقعیت بازشو در مدل‌سازی دال بتن مسلح

رضوانه کرمی فعلی*^۱، عطیه فراهانی^۲، اشکان ابراهیم‌خانی^۱

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

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

آدرس پست الکترونیکی نویسنده رابط (rezvanehkarami71@gmail.com)

چکیده

از مهم‌ترین مراحل که در آن می‌بایست، معماران، مهندسان مکانیک و مهندسان سازه هماهنگی و عملکرد متقابل در طراحی سازه و المان‌های معماری و تاسیساتی از خود نشان دهند، طراحی بازشو و داکت‌ها می‌باشد. از یک جهت به سبب طرح‌های معماری، انتقال تاسیسات نمی‌توان از وجود بازشوها در کف‌های سازه‌ای چشم پوشید و از جهتی دیگر نیز نمی‌توان مکان این بازشوها را به سبب وجود محدودیت‌های سازه‌ای، صرفاً بر اساس سلیقه و طرح‌های هنری انتخاب نمود. لذا می‌بایست با توجه به شرایط پروژه و نیز نقشه‌های سازه‌ای، تاسیساتی و معماری بهینه مکان بازشو را انتخاب و بر اساس عوامل سازه‌ای آن‌ها را طراحی نمود. در طراحی و ساخت دال‌ها در نظر گرفتن بازشوها به دلایل مختلف از جمله لوله‌کشی، لوله‌های حفاظت در برابر آتش، داکت‌های تهویه، گرمایش‌های هواساز، داکت‌های الکتریکی، چاله آسانسور و یا نورگیر ضروری است. ابعاد بازشوها با توجه به کارایی آن‌ها ممکن است کوچک و یا بزرگ باشد. در این مقاله با استفاده از نرم افزار اجزا محدود ABAQUS تاثیر تغییرات متفاوت بازشوها از جمله: شکل و موقعیت بر روی سقف دال بتن مسلح بررسی می‌شود.

در این مقاله دال بتن مسلح به ابعاد ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ میلیمتر و ضخامت ۶۰ میلیمتر و بازشوهایی با مساحت ۱۰ درصد از سطح کل دال بتنی به اشکال مستطیل، دایره و مثلث مدل شده است. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیقات مشاهده می‌شود که با توجه به مقایسه اشکال مختلف، بهترین عملکرد به لحاظ کمترین تغییر مکان را دال بتن مسلح با بازشوی دایره با افزایش ۳۰ درصدی مقدار

کلمات کلیدی: دال بتن مسلح، بازشو، روش اجزا محدود.

Study of Shape and Location Effect of Opening on Reinforced Concrete Slab Modeling

Rezvaneh Karami^{1*}, Atiye Farahani², Ashkan EbrahimKhani¹

- 1- 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.

The most important step in which architects, mechanical engineers and structural engineers have to coordinate and interact with each other in the design of architectural and structural elements, in the design of openings and ducts. In one direction, due to architectural designs, Moving facilities, etc. it is impossible to ignore the presence of opening on the structural floor, and in the other hand, the location of these opening can not be selected due to structural constraints solely based on taste and artistic designs. There fore, according to the project conditions and structural maps, the optimal site architecture and architecture should be selected and designed based on the factors. In designing and manufacturing slabs, openings are essential for a variety of reasons, including plumbing, fire protection, ventilation ducts, air heater heating, electric duct, elevator hole or lightning. The dimensions of the openings may be small or large due to their performance.

In this article using ABAQUS limited element software, we examine the effect of different variations of opening, such as the shape and position on the roof of an arched concrete slab.

In this article concrete slabs with a diameter of 1000 to 1000 mm and a thickness of 60 mm, and opening with a surface area of 10% of the total concrete slab surface are modeled in rectangular, circular and triangular shapes. Based on the result of this research, it can be seen that due to the comparison of different shape, The best performance in terms of minimal displacement is the reinforced concrete slab with a circular opening, with a 30% increase in the value of the displacement relative to the without opening state and the weakest performance of the RC slab with triangle bursts, with a 75% increase in the value of the displacement relative to the without opening state

Keywords:

Reinforced Concrete Slab, Opening, Finite Element Method.

۱. مقدمه

دال‌های بتن آرمه از مهم‌ترین اجزای سازه‌های بتنی محسوب می‌شوند. دال‌ها نه تنها نقش نگهداری بارهای قائم و انتقال آن‌ها به تکیه‌گاه را دارند، بلکه در برخی موارد همراه و یکپارچه با سایر اجزاء سازه، سیستم مقاوم در مقابل نیروهای جانبی را به وجود می‌آورد.

در طراحی و ساخت دال‌ها در نظر گرفتن بازشوها به دلایل مختلف از جمله لوله‌کشی، لوله‌های حفاظت در برابر آتش، داکت‌های تهویه، گرمایش‌های هواساز، داکت‌های الکتریکی، چاله آسانسور و یا نورگیر ضروری است. ابعاد بازشوها با توجه به کارایی آن‌ها ممکن است کوچک و یا بزرگ باشد.

وجود بازشو در دال باعث تغییر در رفتار آن‌ها می‌شود و بر تمرکز تنش، گشتاورهای خمشی، تنش و خیز اثر می‌گذارد. به طور کلی وجود بازشو در دال ایجاد نقطه ضعف می‌نماید. [۱]

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

هوشیار و همکاران [۴] به بررسی اثر بازشوها با اشکال و ابعاد مختلف بر تنش دال‌های بتنی دو طرفه پرداختند. در این تحقیق جهت تعمیم دادن اثر بازشو، بازشوهایی با اشکال و ابعاد مختلف با استفاده از روش اجزا محدود و نرم‌افزار Matlab تحلیل شده‌اند. برای مقایسه شکل بازشوها، سطح بازشوها یکسان در نظر گرفته شدند و برابر ۱ می‌باشد. بازشوهایی مستطیلی و بیضوی در دو راستای افقی و قائم تحلیل شدند. صفحه در نظر گرفته شده در این تحقیق ایزوتوپ بوده و دارای ضخامتی به اندازه ۰٫۱ متر و ابعاد ۲×۲ متر می‌باشد. این صفحه در حالت کشش قرار دارد. به علت وجود انتگرال عددی درصد کمی خطا وجود دارد. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که اگر مرکز بازشو بر مرکز دال منطبق و بازشو گرد باشد در آن صورت، در حالت کشش، دال مورد نظر دارای کم‌ترین تمرکز تنش می‌باشد. در بازشوهایی گوشه‌دار مانند مربع و مستطیل، تمرکز تنش در گوشه‌های بازشو اتفاق می‌افتد که با گرد کردن گوشه‌ها از میزان تمرکز تنش کاسته می‌شود. نتیجه دیگر آن است که با افزایش ابعاد بازشو، میزان تنش موجود در دال افزایش می‌یابد.

الشفیعی و همکاران [۵] به بررسی دال تخت با بازشوی جنب ستون پرداختند. در مجموع ۷ دال تخت که یک نمونه آن بدون بازشو می‌باشد مدل شده است. نمونه‌های مورد آزمایش در این تحقیق به دو گروه تقسیم شدند. گروه اول بازشوهایی واقع در وجه ستون و گروه دوم بازشوهایی واقع در گوشه ستون می‌باشد و شکل تمامی بازشوها مربع است. ابعاد بازشوها ۲۰۰×۲۰۰، ۳۰۰×۳۰۰ و ۴۰۰×۴۰۰ میلی‌متر و ابعاد دال مورد آزمایش ۱٫۷×۱٫۷ متر است. خلاصه نتایج به این صورت می‌باشد: ۱. ظرفیت دال دارای بازشو در مقایسه با دال بدون بازشو کاهش حدود ۲۶٪، ۴۸٪ و ۵۱٪ برای دال با بازشوی ۲۰×۲۰، ۳۰×۳۰ و ۴۰×۴۰ سانتی‌متر را دارا بود. ۲. دال تخت با بازشوی دور از ستون (با فاصله بیشتر از ۱/۵ برابر ضخامت دال) اثر کمی در قدرت پانچ شدگی دال دارد.

رشیدی و همکاران [۶] به بررسی بهبود رفتار دال بتنی دارای بازشو با استفاده از ورقه‌های FRP پرداختند. مدل سازی با نرم‌افزار اجزا محدود آباکوس انجام شده است. مدل‌های تحقیق در سه حالت مختلف مدل سازی شده‌اند. طول دال مدل شده در تمامی مدل‌ها ۲۲۴۰ میلی‌متر و عرض دال ۶۰۰ میلی‌متر می‌باشد. در نمونه اول دال دارای بازشو و با یک لایه پلیمر FRP تقویت شده است. در مدل دوم دال دارای بازشو و با سه لایه پلیمر FRP در جهت طولی تقویت شده و دال سوم دارای بازشو و با سه لایه پلیمر FRP یکی در راستای طولی، دیگری در زاویه ۴۵° نسبت به راستای طولی دال و لایه دیگر در زاویه ۴۵°+ نسبت به راستای طولی دال می‌باشد. نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که با تغییر در تعداد لایه‌های FRP در دال بتنی نتایج متفاوتی به دست آمد که در باربری و جابه‌جایی آن تفاوتی حاصل شد، با افزایش لایه‌های FRP مقاومت دال بتنی هم افزایش می‌یابد.

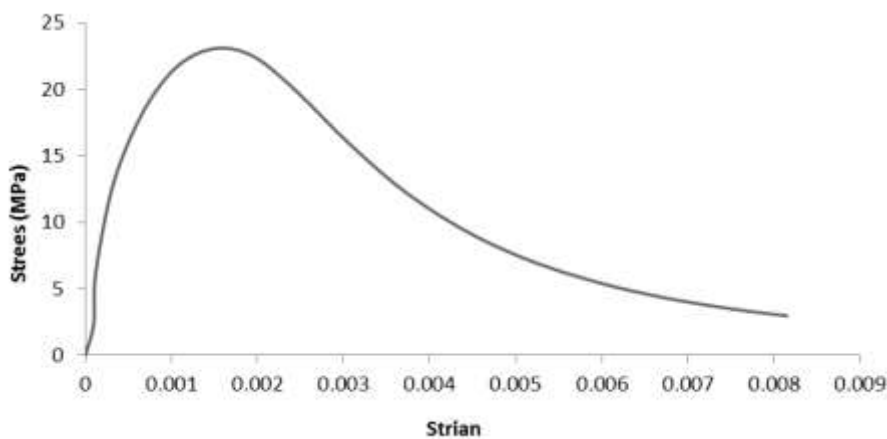
اینکسن و همکاران^۲ [۷] طی یک مطالعه تجربی و عددی به بررسی بازشوی تقویت شده با پلیمر CFRP پرداختند. در این مقاله، روی ۱۱ دال بتنی با بازشو هم به صورت تحلیلی و هم عددی، بررسی صورت گرفته است. ۶ دال با بازشو با پلیمرهای فیبر کربن (CFRP) تقویت شده و ۴ دال با فولاد تقویت شده‌اند. دال‌ها مربع و به طول ضل ۲/۶ متر و ضخامت ۱۰۰ میلی‌متر و بازشوها دارای دو اندازه مختلف ۰/۸۵×۰/۸۵ متر و ۱/۲×۱/۲ متر می‌باشند. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان می‌دهد دال با بازشویی که با ورقه‌های CFRP تقویت شده‌اند عملکرد بهتری نسبت به تقویت با استفاده از فولاد دارند همچنین ظرفیت باربری دال با بازشوی تقویت شده با فولاد بیشتر از ظرفیت باربری دال بدون تقویت است. ارزیابی عددی و تحلیلی تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد.

در مقاله حاضر، با استفاده از نرم‌افزار اجزا محدود ABAQUS به بررسی تاثیر بازشوها با اشکال و موقعیت‌های مختلف بر رفتار دال بتنی و همچنین بررسی تنش و تغییرشکل دال بتنی دارای بازشو و مقایسه تمامی نتایج با دال بدون بازشو پرداخته شده است.

۲. مشخصات مصالح

مشخصات بتن و فولاد جهت مدلسازی و صحت سنجی در نرم‌افزار اجزا محدود ABAQUS معرفی خواهد شد. بتن دارای مقاومت فشاری ۲۳/۱ نیوتن بر میلی‌مترمربع، ضریب پواسون ۰/۱۵ و ضریب الاستیسیته ۲۲/۸ کیلو نیوتون بر میلی‌مترمربع در نظر گرفته شده است. همچنین، فولاد دارای تنش تسلیم ۴۱۵ نیوتن بر میلی‌مترمربع، ضریب پواسون ۰/۳ و ضریب الاستیسیته ۲۱۰ کیلو نیوتون بر میلی‌مترمربع در نظر گرفته شد. [۸]

رفتار غیر خطی بتن از نوع پلاستیسیته آسیب دیده به نرم‌افزار اجزاء محدود طبق شکل(۱)- معرفی شده است. بتن دارای مقاومت فشاری ۲۳/۱ نیوتن بر میلی‌مترمربع، ضریب پواسون ۰/۱۵ و ضریب الاستیسیته ۲۲/۸ کیلو نیوتون بر میلی‌مترمربع می‌باشد. همچنین رفتار غیر خطی فولاد از نوع پلاستیک کامل با رفتار دوطرفه با مقدار فولاد دارای تنش تسلیم و نهایی به ترتیب ۴۱۵ و ۵۶۶ نیوتن بر میلی‌مترمربع، ضریب پواسون ۰/۳ و ضریب الاستیسیته ۲۱۰ کیلو نیوتون بر میلی‌مترمربع در نظر گرفته شده است.



شکل ۱- رفتار بتن استفاده شده

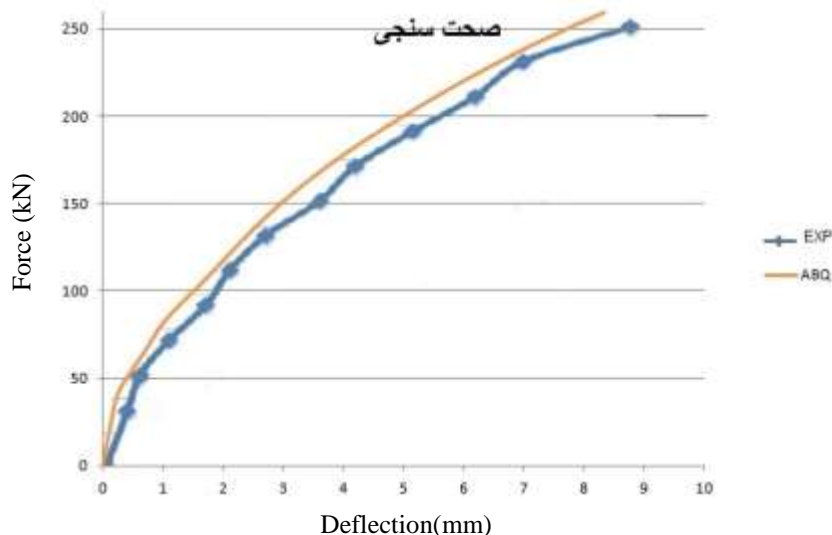
^۲ Enochsson et al.

۳. صحت سنجی

در این قسمت به منظور اطمینان از نتایج حاصل از مدلسازی با نرم افزار اجزا محدود ABAQUS، مدل های ساخته شده بر اساس تحقیق در و همکاران در سال ۲۰۱۳ [۸] صحت سنجی شده است.

در و همکاران [۸] یک مطالعه آزمایشگاهی بر روی رفتار و تغییر شکل دال با بازشو انجام دادند. اهداف این تحقیق شامل بررسی مقاومت خمشی در دال های دارای بازشو و بدون بازشو و بررسی ابعاد و موقعیت های مختلف بازشو در دال می باشد. تحقیق شامل ۴ مدل می باشد، دال مدله شده مربع، به ضلع ۱ متر و ضخامت ۶۰ میلی متر می باشد همچنین میلگردهای طولی و عرضی دال بتنی با فاصله ۱۲۲ میلی متر از هم و قطر ۸ میلی متر مدله شده است. مقدار بار فشاری گسترده سطحی در این تحقیق ۰/۳۶ نیوتون بر میلی متر مربع در نظر گرفته شده است.

در شکل (۲) - مقایسه نمودار مدل اجزا محدود دال بتن مسلح با نمونه آزمایشگاهی به منظور صحت سنجی را نشان می دهد. همانطور که نشان داده شده است، منحنی بارافزون نمونه مدلسازی شده در نرم افزار مطابقت خوبی با اختلاف کمتر از ۹/۶ درصد با منحنی بارافزون به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی نمونه آزمایشگاهی دارد. دلیل اختلاف دو نمودار را می توان در نظر گرفتن مصالح ایده آل در محیط نرم افزار دانست حال اینکه این شرایط ممکن است در آزمایشگاه برقرار نباشد.



شکل ۲- مقایسه نمودار بارافزون مدل اجزا محدود با نمونه آزمایشگاهی

۴. مدلسازی

در این قسمت به بررسی مشخصات مدل ها و معرفی مدل ها پرداخته شده است. مدل ها در ۱۱ حالت مختلف بررسی شده اند. طول و عرض دال مدله شده در تمامی مدل ها ۱۰۰۰ میلی متر و ضخامت آن ۶۰ میلی متر می باشد.

همچنین میلگردهای طولی و عرضی دال بتنی با فاصله ۱۲۲ میلی متر از هم و قطر ۸ میلی متر مدله شده است.

دال مدله شده از نوع Solid و میلگردهای مدله شده از نوع Trust هستند.

برای اعمال بارهای خارجی، مکانیکی، حرارتی، صوتی الکتریکی و ... ، همچنین تعیین شرایط مرزی می توان از مازول بارگذاری استفاده کرد. برای اعمال شرایط تکیه گاهی در دال ۴ طرف آن با استفاده از تکیه گاه مفصلی بسته شده است، و بار محوری از بالا به دال وارد می شود که مقدار آن ۲۶۰ کیلو نیوتن است.

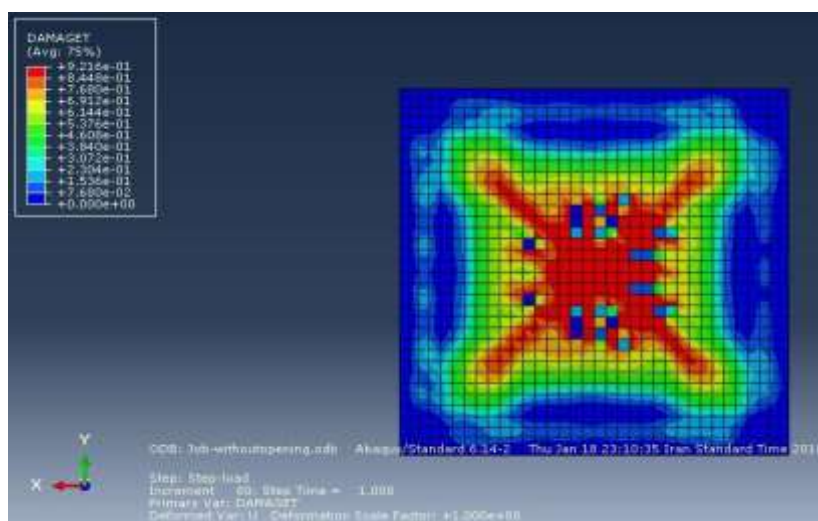
برای مش بندی نیز از روش همگرایی مش استفاده شده است و سایز مش بندی در مدل ها ۳۰ می باشد.

جدول ۱- مشخصات مدل‌های اجزا محدود تهیه شده

نام نمونه	درصد بازشو نسبت به دال	شکل بازشو	مکان بازشو
S1	بدون بازشو	—	—
S2	٪۱۰	مستطیل	مرکز دال
S3	٪۱۰	دایره	مرکز دال
S4	٪۱۰	مثلث	مرکز دال
S5	٪۱۰	مستطیل	گوشه دال
S6	٪۱۰	دایره	گوشه دال
S7	٪۱۰	مثلث	گوشه دال
S8	٪۱۰	مستطیل	لبه دال
S9	٪۱۰	دایره	لبه دال
S10	٪۱۰	مثلث	لبه دال
S11	٪۱۰	مستطیل	لبه دال

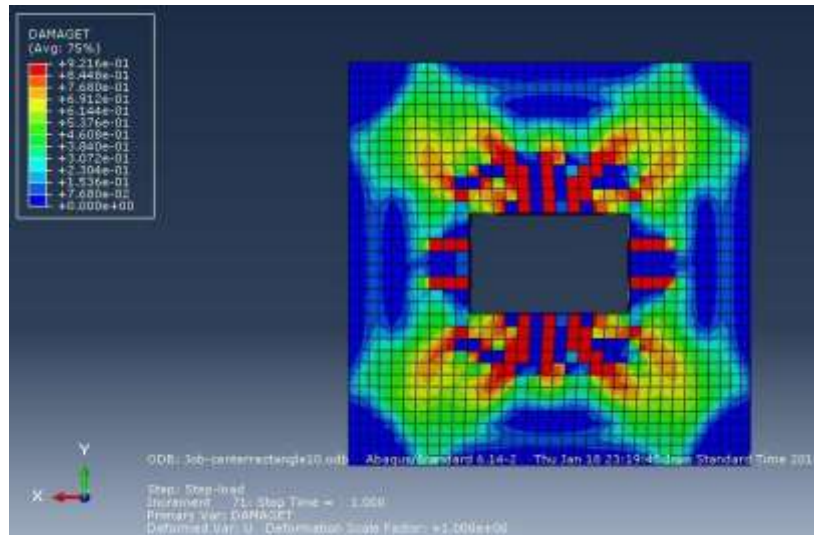
۵. تجزیه و تحلیل نتایج

در این قسمت نتایج مربوط به مدل‌های دال بتن مسلح بدون بازشو و با بازشو با اشکال و موقعیت‌های مختلف بازشو مطابق جدول (۱) ارائه می‌شود. شکل‌های (۱۳-۳) آسیب کششی ناشی از اعمال بار محوری بر دال بتن مسلح با و بدون بازشو در شکل‌ها و موقعیت‌های مذکور را نشان می‌دهد.



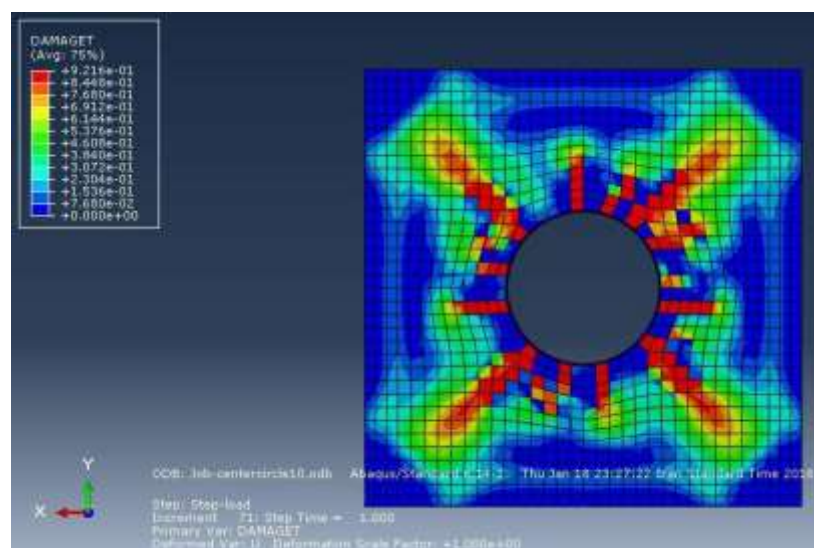
شکل ۳- آسیب‌های کششی بتن مدل S1

شکل (۳) - آسیب کششی ناشی از اعمال بار محوری بر دال بتن مسلح بدون بازشو را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود این آسیب‌ها از مرکز دال بتن مسلح بدون بازشو شروع شده و به سمت چهار گوشه آن حرکت می‌کند.



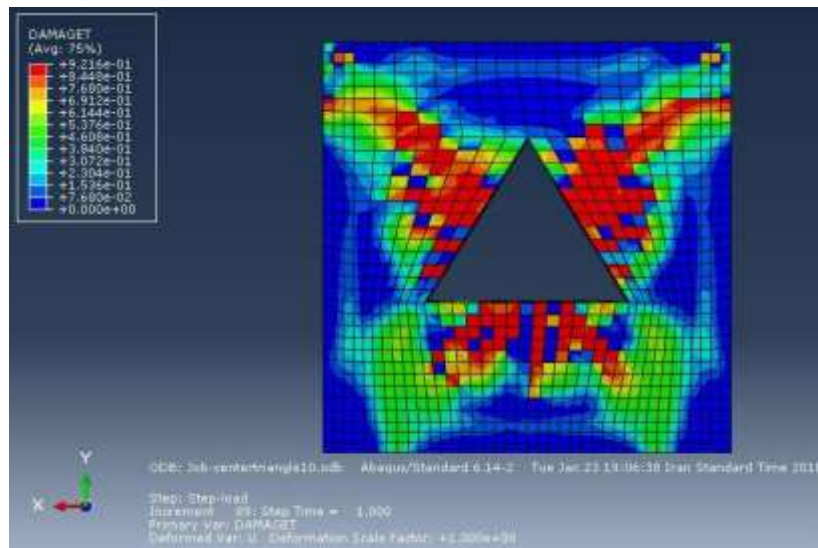
شکل ۴- آسیب‌های کششی بتن مدل S2

شکل (۴) - آسیب کششی ناشی از اعمال بار محوری بر دال بتن مسلح دارای بازشوی مستطیل واقع در مرکز دال را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در اطراف بازشو، بتن تحت بیشترین کشش قرار گرفته است و رفته رفته با فاصله گرفتن از بازشو و مرکز دال از آسیب کششی دال نیز کاسته می‌شود.



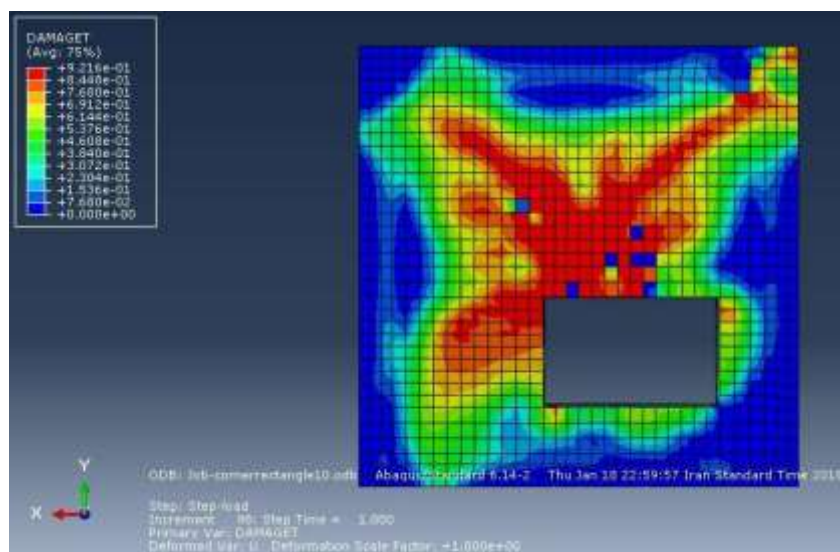
شکل ۵- آسیب‌های کششی بتن مدل S3

شکل (۵)- آسیب کششی ناشی از اعمال بار محوری بر دال بتن مسلح دارای بازشوی دایره واقع در مرکز دال را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود بتن در اطراف بازشو تحت بیشترین کشش قرار گرفته است و رفته رفته با فاصله گرفتن از بازشو و مرکز دال از آسیب کششی دال نیز کاسته می‌شود.



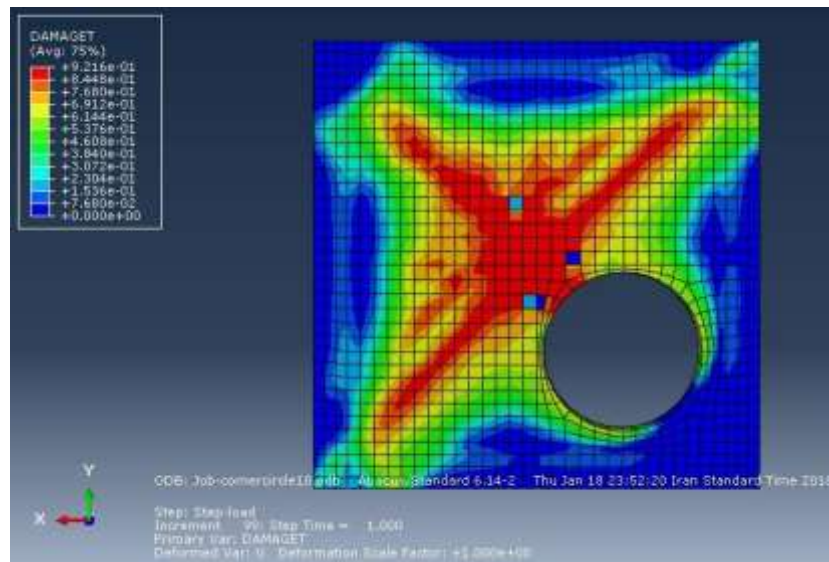
شکل ۶- آسیب‌های کششی بتن مدل S4

شکل (۶)- آسیب کششی ناشی از اعمال بار محوری بر دال بتن مسلح دارای بازشوی مثلث واقع در مرکز دال را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین آسیب کششی به اضلاع بازشوی مثلثی وارد شده است و به سمت گوشه‌های دال بتنی رفته است. در بازشوی مثلثی واقع در مرکز نسبت به بازشوی دایره و مستطیل مرکزی آسیب کششی بیشتری رخ داده است.



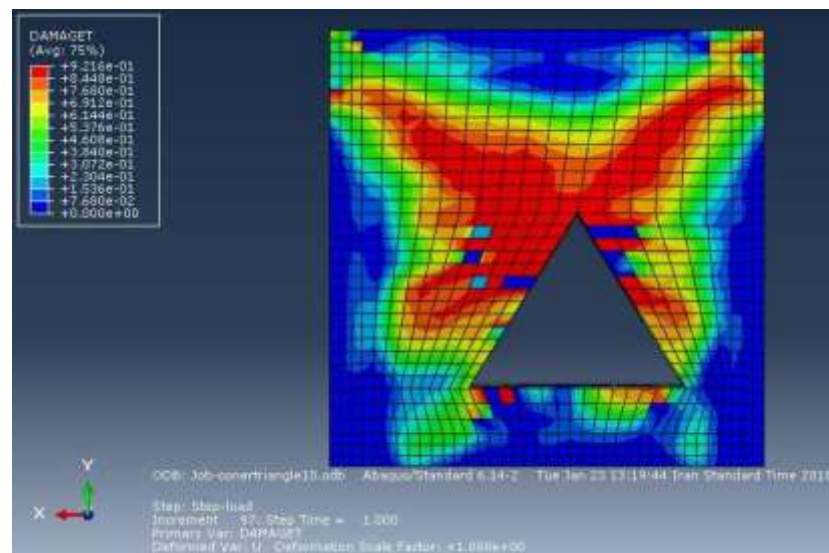
شکل ۷- آسیب‌های کششی بتن مدل S5

شکل (۷) - آسیب کششی ناشی از اعمال بار محوری بر دال بتن مسلح دارای بازشوی مستطیل واقع در گوشه دال را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود این آسیب‌ها از مرکز دال شروع شده و به سمت گوشه‌های دال بتنی حرکت می‌کند.



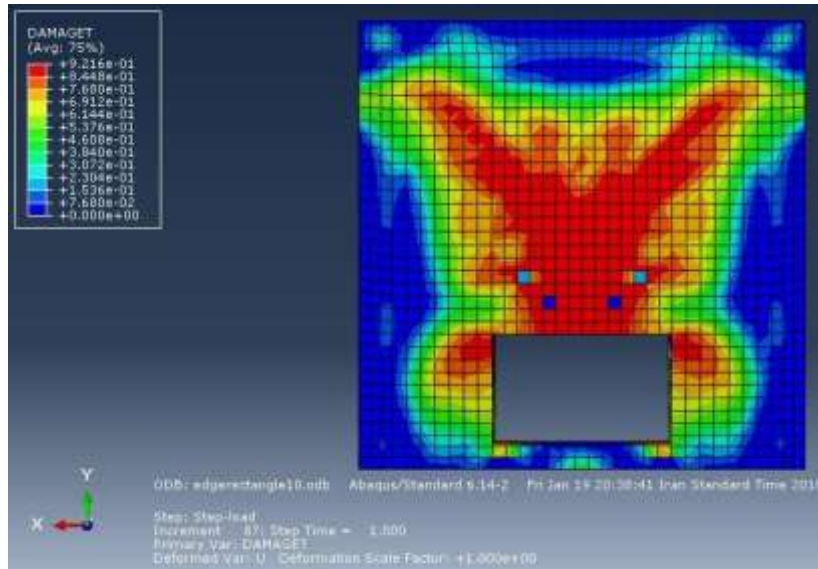
شکل ۸- آسیب‌های کششی بتن مدل S6

شکل (۸) - آسیب کششی ناشی از اعمال بار محوری بر دال بتن مسلح دارای بازشوی دایره واقع در گوشه دال را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود عمده این آسیب‌ها در مرکز دال بتن مسلح است و به سمت قطر اصلی دال پیش رفته است.



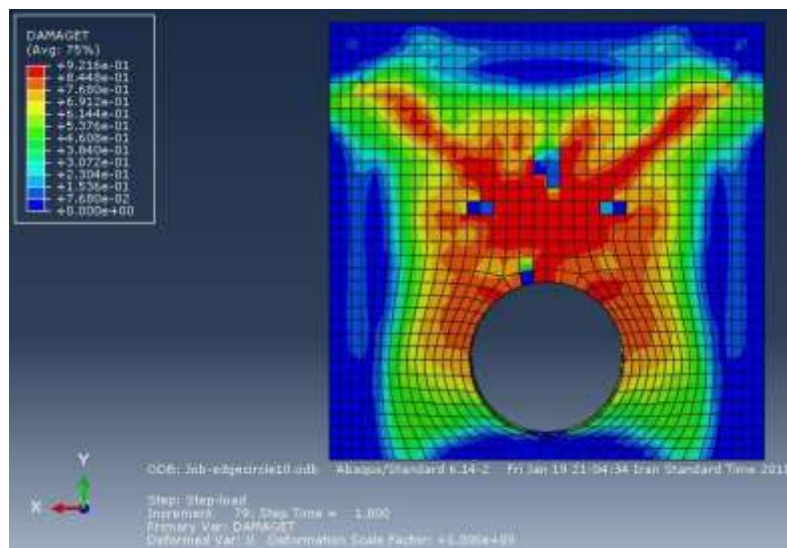
شکل ۹- آسیب‌های کششی بتن مدل S7

شکل (۹) - آسیب کششی ناشی از اعمال بار محوری بر دال بتن مسلح دارای بازشوی مثلث واقع در گوشه دال را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین آسیب در مرکز دال بتن مسلح و در راستای قطر اصلی دال رخ داده است.



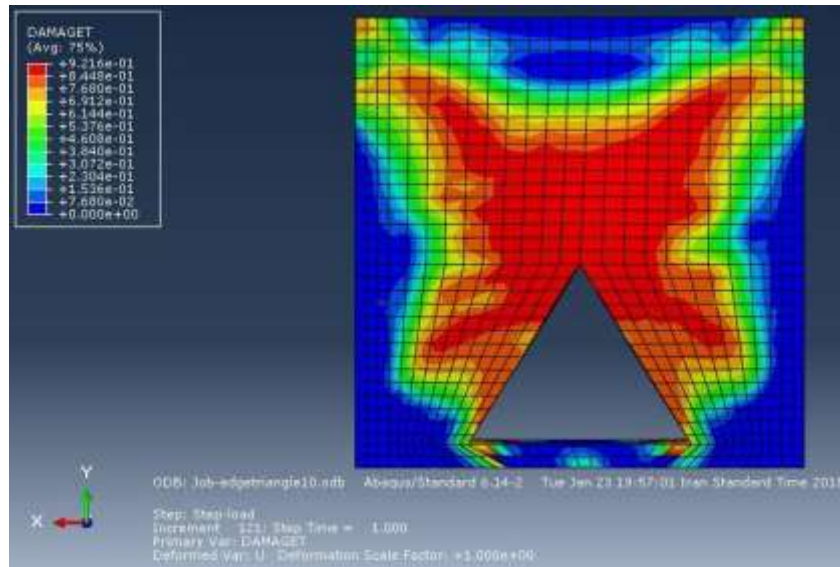
شکل ۱۰- آسیب‌های کششی بتن مدل S8

شکل (۱۰)- آسیب کششی ناشی از اعمال بار محوری بر دال بتن مسلح دارای بازشوی مستطیل واقع در لبه دال را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، بیشترین آسیب‌ها از مرکز دال بتنی شروع شده و با افزایش بار به سمت گوشه‌های دال بتنی حرکت می‌کند، همچنین در گوشه‌های بازشوی مستطیلی نیز آسیب‌های کششی دیده می‌شود و با برداشتن بار از مرکز دال بتن مسلح همانطور که پیداست مرکز دال دچار آسیب کششی بیشتری شده است.



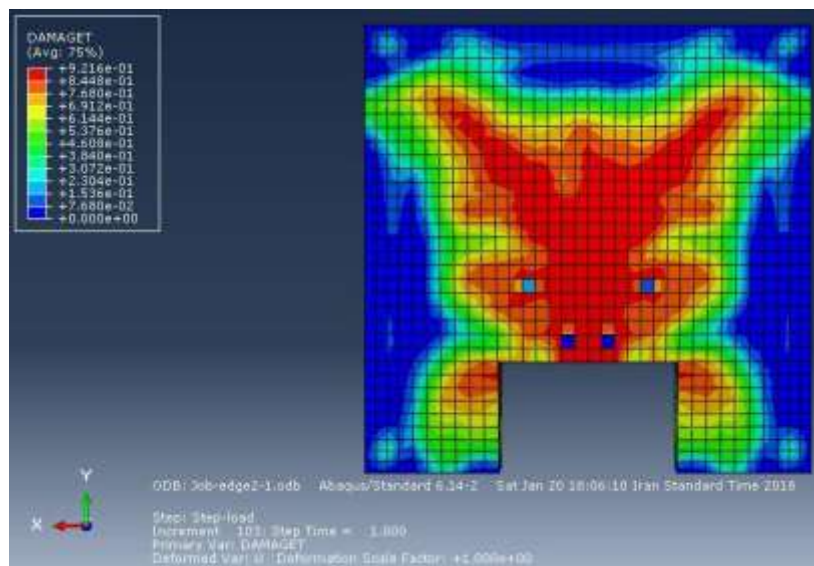
شکل ۱۱- آسیب‌های کششی بتن مدل S9

شکل (۱۱)- آسیب کششی ناشی از اعمال بار محوری بر دال بتن مسلح دارای بازشوی دایره واقع در لبه دال را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین آسیب‌ها از مرکز دال بتن مسلح شروع شده و با افزایش بار به سمت گوشه‌های دال بتنی حرکت می‌کند، همچنین در اطراف بازشوی دایره شکل نیز آسیب‌های کششی دیده می‌شود.



شکل ۱۲- آسیب‌های کششی بتن مدل S10

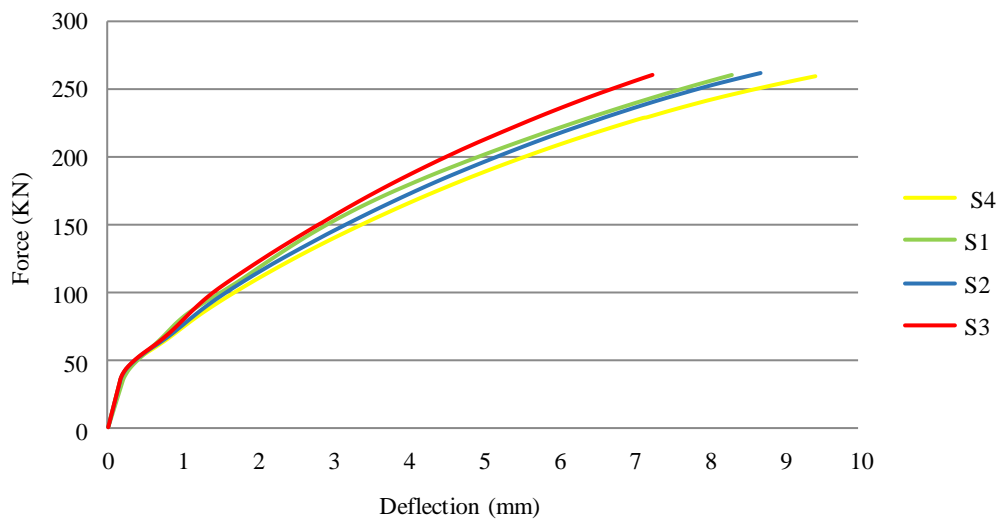
شکل (۱۲)- آسیب کششی ناشی از اعمال بار محوری بر دال بتن مسلح دارای بازشوی مثلث واقع در لبه دال را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود این آسیب‌ها از مرکز دال بتن مسلح شروع شده و به سمت گوشه‌ها رفته و بخش زیادی از سطح دال و اطراف بازشو را در بر گرفته است.



شکل ۱۳- آسیب‌های کششی بتن مدل S11

شکل (۱۳)- آسیب کششی ناشی از اعمال بار محوری بر دال بتن مسلح دارای بازشوی مستطیل واقع در لبه دال را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود آسیب‌های کششی ابتدا در مرکز دال بتنی رخ می‌دهد سپس با افزایش بار به سمت گوشه‌های دال بتنی رفته و همچنین آسیب‌هایی در اطراف بازشو رخ داده است.

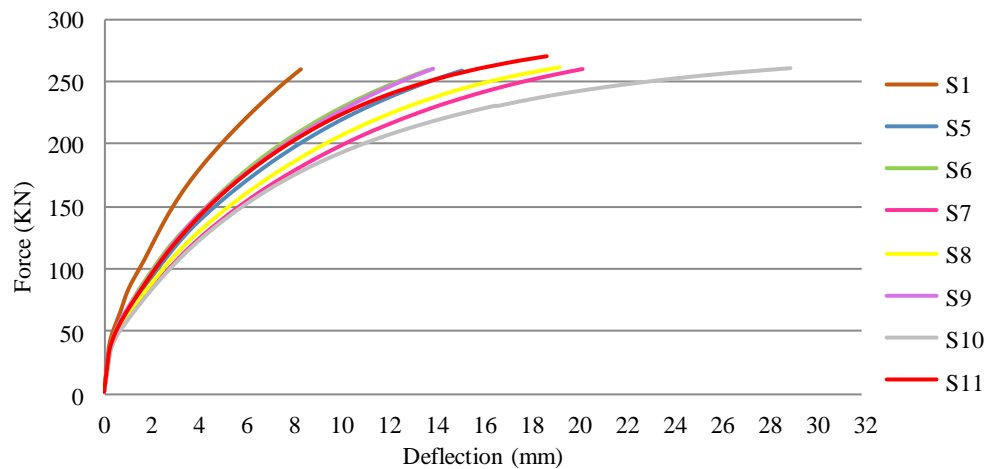
در شکل (۱۴) - نمودار بارافزون مدل‌هایی که بازشوی آن‌ها واقع در مرکز دال است، مشاهده می‌شود. در این مدل‌ها برای به دست آوردن بیشترین تغییر مکان دال بتنی، تغییر مکان اطراف بازشو بررسی شده است. با توجه به این شرایط بهترین عملکرد را مدل S3 که دارای بازشوی دایره‌ای با مساحت ۱۰٪ مساحت کل دال است، دارا می‌باشد. البته باید ذکر شود که این نتیجه با توجه به نزدیکی محیط بازشو به بر تکیه‌گاه‌های دال می‌باشد و همچنین در مدل‌هایی که بازشوی آن‌ها واقع در مرکز دال است، برای خواندن تغییر مکان دال، تغییر مکان اطراف بازشو خوانده شده است.



شکل ۱۴- نمودار بارافزون مدل دال با بازشوی مرکزی

در شکل (۱۵) - نمودارهای بارافزون مدل‌هایی دیده می‌شود که بازشوی آن‌ها در گوشه و لبه دال می‌باشد. یعنی در واقع برای بررسی بیشترین تغییر مکان دال نقطه‌ی وسط دال در نظر گرفته شده است.

بهترین عملکرد را با توجه به شکل مدل S1 داراست این مدل، مدل اصلی و بدون بازشو است. بعد از آن مدل‌های S6، S9، S5، S11 عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها دارند. این مدل‌ها به ترتیب شامل بازشوی دایره واقع در گوشه دال، بازشوی دایره واقع در لبه دال و بازشوی مستطیل واقع در لبه دال می‌باشد که قسمتی از ضلع پایین دال را نیز در بر گرفته است. ضعیف‌ترین عملکرد را نیز مدل S10 داشته که دارای بازشوی مثلثی واقع در لبه دال است.



شکل ۱۵- نمودار بارافزون مدل دال با بازشوی واقع در گوشه و لبه

همچنین، جدول (۲)- تغییرمکان تعدادی از مدل‌ها که بازشوی آن‌ها واقع در گوشه و لبه دال است، بررسی شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد، حداکثر تغییرمکان در مدل‌های دال بتن مسلح بازشوی واقع در گوشه و لبه دال به ترتیب دال بتن مسلح با بازشوی دایره واقع در گوشه دال با افزایش ۶۴ درصدی مقدار تغییرمکان نسبت به حالت بدون بازشو، دال بتن مسلح با بازشوی دایره واقع در لبه دال با افزایش ۶۷ درصد، دال بتن مسلح با بازشوی مستطیل واقع در گوشه دال با افزایش ۸۲ درصد، دال بتن مسلح با بازشوی مستطیل واقع در لبه دال با افزایش ۱۳۱ درصد، دال بتن مسلح با بازشوی مثلث واقع در گوشه دال با افزایش ۱۴۳ درصد و دال بتن مسلح با بازشوی مثلث واقع در لبه دال با افزایش ۲۴۸ درصدی مقدار تغییرمکان نسبت به حالت بدون بازشو دارای عملکرد ضعیف‌تری به لحاظ تحمل خیز هستند.

جدول ۲- حداکثر تغییرمکان مدل‌های دال بتن مسلح

مدل	توضیحات مدل	بیشینه تغییر شکل (میلیمتر)	درصد نسبت مساحت باز شو به دال
S1	بدون باز شو	8.31	0
S5	بازشوی مستطیل گوشه	15.11	10
S6	بازشوی دایره گوشه	13.66	10
S7	بازشوی مثلث گوشه	20.19	10
S8	بازشوی مستطیل لبه	19.23	10
S9	بازشوی دایره لبه	13.89	10
S10	بازشوی مثلث لبه	28.96	10
S11	بازشوی مستطیل لبه ۲	18.68	10

برای مقایسه عملکرد بازشوهای واقع در مرکز با دال بدون بازشو، یک نقطه در کنار بازشو را در نظر گرفته و با همان نقطه در دال بدون بازشو مقایسه شده است.

در جدول (۳) حداکثر تغییرمکان در فاصله ۳۰۰ میلیمتر از بر دال در مدل‌های دال بتن مسلح بازشوهای واقع در مرکز دال نشان داده شده است. بهترین عملکرد به لحاظ کمترین تغییرمکان را دال بتن مسلح با بازشوی دایره با افزایش ۳۰ درصدی مقدار تغییرمکان نسبت به حالت بدون بازشو و ضعیف‌ترین عملکرد را دال بتن مسلح با بازشوی مثلث با افزایش ۷۵ درصدی مقدار تغییرمکان نسبت به حالت بدون بازشو دارد.

جدول ۳- حداکثر تغییرمکان در فاصله ۳۰۰ میلیمتر از بر دال در مدل‌های دال بتن مسلح

مدل	توضیحات مدل	بیشینه تغییر شکل در فاصله ۳۰۰ از بر دال (میلیمتر)	درصد نسبت مساحت بازشو به دال
S1	بدون بازشو	5.7	0
S2	بازشوی دایره مرکز	7.4	10
S3	بازشوی مستطیل مرکز	8.7	10
S4	بازشوی مثلث مرکز	10	10

۶. نتیجه گیری

۱. بررسی مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج مدل سازی ها نشان می دهد که نرم افزار اجزای محدود ABAQUS توانایی مدل سازی مناسب دال های بتنی را داشته و می توان به عنوان ابزار مناسب در ارائه راهکارهای مناسب مورد استفاده قرار گیرد.
۲. با توجه به مدل سازی صورت گرفته در این تحقیق در نمونه های دال بتن مسلح می توان به این نتیجه رسید که وجود بازشوها با شکل های مختلف در موقعیت های مختلف در دال، بر روی عملکرد سازه های مدل ها تاثیرگذار بوده و با استناد به نتایج حاصل از نمودارهای بارافزون و کانتورهای تنش می توان گفت که بعد دال بتنی بدون بازشو، دال بتن مسلح با بازشوی دایره عملکرد بهتری به لحاظ خیز کمتر و تحمل نیروی بیشتر از خود نشان می دهد.
۳. با توجه به مقایسه اشکال مختلف، شکلی بهترین عملکرد را دارد که دارای گوشه های تیز کمتری باشد، در نتیجه دایره عملکرد به نسبت بهتری دارد. بطوریکه به دلیل تمرکز تنش، آسیب های بتن در گوشه ها با زاویه حاده مانند بازشوی مثلث بیشتر است.
۴. با توجه به بررسی های انجام شده بازشوهایی که در مرکز قرار دارند عملکرد بهتری دارند، بازشوهایی که در مرکز دال بتن مسلح قرار دارند آسیب بتنی کمتری به نسبت بازشوهای واقع در گوشه دال دارند، به گونه ای که آسیب های کششی بتن از مرکز دال شروع شده و به سمت چهار گوشه دال بتنی حرکت می کند. ولی در بازشوهای واقع در مرکز فقط اطراف بازشو دچار آسیب کششی می شود.
۵. حداکثر تغییر مکان در فاصله ۳۰۰ میلی متر از بر دال در مدل های دال بتن مسلح بازشوهای واقع در مرکز دال نشان داده شده است. بهترین عملکرد به لحاظ کمترین تغییر مکان را دال بتن مسلح با بازشوی دایره با افزایش ۳۰ درصدی مقدار تغییر مکان نسبت به حالت بدون بازشو و ضعیف ترین عملکرد را دال بتن مسلح با بازشوی مثلث با افزایش ۷۵ درصدی مقدار تغییر مکان نسبت به حالت بدون بازشو دارد.

۷. مراجع

- [۱]. سرتیپی، ع. ارمغانی، ا.، (۱۳۹۱)، "بررسی رفتار بازشو بر دال تخت بتن مسلح تحت جابه‌جایی‌های بزرگ"، اولین کنفرانس ملی بهسازی و مقاوم‌سازی بافت‌های شهری در مجاورت گسل‌های فعال، تبریز، ایران.
- [۲]. هوشیار، آ. نبوی، ا. ایمانی. ه.، (۱۳۹۲)، " بررسی اثر ابعاد، موقعیت و شکل بازشوها بر خیز دال بتنی دوطرفه تحت خمش"، پنجمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، کد-34f-A، تهران، ایران.
- [3]. Ha. E, Lee. M. H, Park. J, Kim. D. J, (2015), "Effects of Openings on the Punching Shear Strength of RC Flat-Plate Slabs without Shear Reinforcement", Published online in Wiley Online Library.
- [۴]. هوشیار، آ. نبوی، ا. ایمانی. ه.، (۱۳۹۲)، " بررسی اثر بازشوها با اشکال و ابعاد مختلف بر تنش دالهای بتنی دوطرفه"، پنجمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، کد-34f-A، تهران، ایران
- [5]. Elshafiey. T. F, Hussein. M, Aziz. M. A, (2012), "Behaviour of Flat Slabs with Openings Adjacent to Columns", Tanta 31511, Egypt.
- [۶]. رشیدی، ب. ارمغانی، ا. ملکی. ا.، (۱۳۹۴)، " بهبود رفتار دال‌های بتنی دارای بازشو با استفاده از ورقه‌های FRP"، کنفرانس بین‌المللی علوم و مهندسی، دبی، امارات.
- [7]. Enochsson. O, Lundqvist. J, Ta'ljsten. B, Rusinowski. P, Olofsson. T, (2007), "CFRP Strengthened Openings in two-way Concrete slabs – An Experimental and Numerical Study" ScienceDirect, Elsevier.
- [8]. DAR, M.A, DAR, A. R, FAYAZ. S, RAJU, J., (2013), "Experimental Study on Strength & Deformation Behaviour of Slabs with Openings", International Journal of Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering Research and Development, Vol. 3, Issue 5, pp 117-126.
- [9]. ABAQUS Version 6.14 Documentation, " ABAQUS Analysis Manual", 20.
- [10]. Tayel, M.A., Soliman, M.H., Ibrahim, K.A., (2004) "Experimental Behavior of Flat Slabs with Openings under the Effect of Concentrated Loads", Civil Engineering Department, Menoufiya University, Egypt.
- [11]. Boon, K. H, Diah, A.B. M, Loon. L. Y., (2009), "Flexural Behaviour of Reinforced Concrete Slab with Opening", Malaysian Technical Universities Conference on Engineering and Technology, Pahang, Malaysia.
- [12]. Elshafiey. T. F, Hussein. M, Aziz. M. A, (2012), "Behaviour of Flat Slabs with Openings Adjacent to Columns", Tanta 31511, Egypt.
- [۱۳]. کی‌نیا، ا.م.، (۱۳۷۴) " آنالیز و طراحی سازه های بتن آرمه " انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.
- [۱۴]. هوشیار، آ. (۱۳۸۹)، " بررسی اثر بازشوها بر رفتار دالهای بتن آرمه"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، هوشیار، ا. ابی‌ترابی، م. (استاد راهنما)، دانشگاه محقق اردبیلی.
- [۱۵]. رشیدی، ب. (۱۳۹۴). "بهبود رفتار دال‌های بتن آرمه دارای بازشو با استفاده از الیاف FRP"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه، ارمغانی، ا. (استاد راهنما)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد.