

بررسی تاثیر چرخش مثلثاتی ستون بر ظرفیت برش منگنه‌ای در دال‌های مجوف دو طرفه با استفاده از روش المان محدود

هادی عزیزیان

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران.

محمد علی لطف الهی یقین*

استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

علاء الدین بهروش

استاد، گروه مهندسی عمران، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران.

lotfollahi@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۱۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۸/۰۸/۱۱

چکیده:

با توجه به اینکه اجرای ستون در دال‌های مجوف دو طرفه با برخی محدودیت‌ها بخصوص معماری مواجه است، بنابراین در بعضی از اجراها، ستون، باید چرخش داده شود که این چرخش باعث تغییر فاصله گوی‌های کروی از لبه ستون و تغییر ظرفیت برش منگنه‌ای خواهد شد، که تاکنون در این زمینه تحقیقات آزمایشگاهی و آنالیز عددی انجام نشده است. در این تحقیق بعد از کالیبراسیون نرم افزار المان محدود ABAQUS با نتایج آزمایشگاهی، تاثیر چرخش ستون مربعی با فواصل مختلف گوی‌های کروی از لبه ستون بر ظرفیت برش منگنه‌ای و مکانیسم شکست (ناحیه مستعد خرابی) در دال مجوف دو طرفه بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش فاصله گوی‌ها از بر ستون تا $(S \geq d)$ با زاویه‌های مختلف، ظرفیت برش منگنه‌ای افزایش پیدا کرده سپس ثابت می‌گردد. در شرایطی که فاصله گوی‌ها از لبه ستون، کمتر از (d) باشد با افزایش زاویه چرخش ستون، ظرفیت برش منگنه‌ای کاسته می‌شود که علت این امر وجود ناحیه مستعد خرابی در فاصله کمتر از (d) می‌باشد.

کلید واژگان: دال مجوف دو طرفه، چرخش مثلثاتی ستون، ظرفیت برش منگنه‌ای، تحلیل اجزاء محدود

۱- مقدمه

دالهای سقفی یکی از مهمترین عناصر سازه‌ای ساختمان هستند که سازه را به فضاهای جداگانه تقسیم می‌کنند، بارهای عمودی بوجود آمده را به ستون‌ها یا دیوارها منتقل می‌کنند و نیروهای ایجاد شده در اثر بارهای افقی را در بین ستون‌ها و دیوارهای محدودکننده توزیع می‌کنند. در این حالت، دالهای سقفی به عنوان یک صفحه جانبی مستحکم عمل می‌کنند. بنابراین دالها باید به گونه‌ای طراحی شوند که بالاترین استحکام را داشته باشند. استحکام در دالهای سقفی اغلب با افزایش ارتفاع سطح مقطع به دست می‌آید که البته این به معنای بارهای وزن خود بتن و ورودی بتن نیز می‌باشد. برای جلوگیری از افزایش وزن می‌توان از دالهای مجوف استفاده کرد. چنین راه حل طراحی، باعث کاهش وزن دالها با کاهش استحکام آنها می‌شود. تجزیه و تحلیل پروژه‌ها در ساختمان‌ها نشان می‌دهد که برای دستیابی به یک چیدمان کارآمد، باید راه حل‌های جدید ساختاری و تکنولوژیکی برای افزایش دهانه‌ها و کاهش تعداد سازه‌های باربر و وزن مرده دال را پیدا کرد [۱]. به نظر می‌رسد استفاده از فیبرو بتن برای تقویت سازه‌های با طول بلند یکی از مفیدترین نمونه‌ها برای دستیابی به پیچیدگی راه حل ساختاری و تکنولوژیکی است [۲ و ۳] در حال حاضر، بیش از هر زمان دیگر، موضوع ساخت و ساز پایدار از اهمیت بالایی برخوردار بوده است [۴] و بر کاهش مصالح ساختمانی، بازیافت و استفاده مجدد از مصالح ساختمانی و زباله‌های پلاستیکی متمرکز شده است. برای سبکتر شدن دالهای سقفی، سیستم دال‌های مجوف بتونی درجا در سراسر جهان معرفی شده است. داخل این حفره‌ها را می‌توان با پسماندهای پلاستیکی شکل مانند کره [۵، ۶]، بیضی [۷، ۸]، استوانه مخروطی [۹] یا جعبه مستطیل شکل [۱۰-۱۲] پر نمود.

آرایش‌بندی پسماندهای پلاستیکی باعث تغییر رفتار دال در ظرفیت برش منگنه‌ای می‌شود، در تحقیقی وقتی آرایش‌بندی گوی‌های کروی متفاوت بود ظرفیت برش منگنه‌ای تغییر کرده بود. موثرترین روش، قرار دادن گوی‌های کروی پلاستیکی تا محل اتصال ستون به دال است. خطرناک‌ترین مناطق دالهای توپر و مجوف دو طرفه محل اتصالات ستون به دال و مناطقی هستند که بارهای متمرکز به آن اعمال می‌شود [۱۳]. تنش‌های برشی زیاد در این ناحیه باعث برش منگنه‌ای می‌شود [۱۴]. علاوه بر این، دالهای مجوف نسبت به دالهای توپر بیشتر مستعد خرابی هستند. تحقیقات نشان داده است که زاویه شکست سطح خرابی منگنه‌ای مخروط، در هنگام منگنه‌ای دال از ۲۲ تا ۴۵ درجه متغیر است. با تقویت ناحیه منگنه اینینگ با میلگرد برشی، ممکن است ظرفیت برش منگنه‌ای افزایش یابد. دال تخت و اتصال ستون به دال توپر به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند [۱۵]. بر اساس این مطالعات، روشهای مختلفی برای محاسبه ظرفیت برشی منگنه‌ای یک دال پیشنهاد شده است [۱۶]. اما این روشها بر اساس فرضیات مختلفی مبتنی است. براساس این فرضیات، محیط بحرانی برش منگنه‌ای در فاصله d تا $2d$ از بر ستون قرار دارد. محاسبه ظرفیت برش منگنه‌ای با برآورد محیط برش منگنه‌ای تحت تأثیر قرار می‌گیرد. این برای محاسبه ظرفیت برش منگنه‌ای دال‌های مجوف بسیار مهم است. مطابق روش محاسبه EC2 [۱۷]، محیط بحرانی

برش منگنه‌ای در فاصله $2d$ از لبه ستون قرار دارد (جایی که d عمق مؤثر سطح مقطع دال است).

اساس شبیه‌سازی نرم‌افزار المان محدود با موضوع برش منگنه‌ای که در آن جزءهای زیادی دخیل هستند، نیازمند تأیید دقیق تفسیر و مدلسازی اجزاء با استفاده از نتایج آزمون تجربی است. برخی از اهداف اصلی مؤثر مدل اجزاء مورد استفاده، نوع، شکل هندسی و اندازه اجزاء، نحوه تفکیک آرمان‌تور و گسسته‌سازی منطقه باراعمالی می‌باشد. شبیه‌سازی‌ها توسط انواع مختلف آزمایش تأیید و ارزیابی می‌شوند. مطالعات پارامتری محدودبتهای پارامترهای اجزاء و گسسته‌ها را مشخص می‌کند. با توجه به این الزامات، مدل المان محدود نهایتاً تکمیل نشده و به طور مداوم اصلاح و بهبود می‌یابد [۱۸].

در این تحقیق بعد از کالیبراسیون نرم‌افزار المان محدود ABAQUS 6.19، تأثیر چرخش ستون با مقطع مربعی با فواصل مختلف گوی‌های کروی از لبه ستون بر ظرفیت برش منگنه‌ای و مکانیسم شکست (ناحیه مستعد خرابی) در دال مجوف دو طرفه بررسی شد.

۲- ضرورت و اهداف این تحقیق

بر اساس تحقیقات انجام گرفته، این کار تحقیقی برای اولین بار انجام شده است به این شیوه که تأثیر چرخش مثلثاتی ستون دال در خلاف عقربه‌های ساعت که با آرایش‌بندی گوی‌های پلاستیکی به صورت دو لایه مربعی در اطراف ستون می‌باشد، بر برش منگنه‌ای در دالهای مجوف مورد بررسی و آنالیز عددی با نرم‌افزار ABAQUS 6.19 قرار گرفت.

۳- مدلسازی و مشخصات مدل‌ها

آزمایشی که در این تحقیق برای انجام صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفته، آزمایش انجام شده توسط والیونیز و همکاران [۱۹] در آزمایشگاه دانشگاه فنی و مهندسی ویلیام گیدنیناس در لیتوانی در سال ۲۰۱۷ است. مدل اجزای محدود دقیقاً با مشخصات ذکر شده در آزمایش ساخته شده است. بنابراین سعی بر آن شد تا نرم‌افزار المان محدود با کار آزمایشگاهی قید شده، که یک دال بتنی مجوف می‌باشد، مقایسه و کالیبره گردید. مشخصات مصالح استفاده شده در ساخت دال بتنی در جدول (۱) و (۲) آورده شده است. نتایج آزمایش با پیش‌بینی‌های حاصل از تحلیل مدل‌ها مقایسه می‌شود و در صورت انطباق، می‌توان به نتایج حاصل از مدل‌سازی اجزای محدود اعتماد نمود.

جدول ۱- مشخصات بتن استفاده شده در ساخت دال [۱۹] مقاله ۲۰۱۷

چگالی (kg/m ³)	تنش نهایی فشاری (MPa)	تنش نهایی کشش (MPa)	ضریب پواسون 0.15	مدول الاستیسیته (GPa) 27.17
2400	26.51	3		

جدول ۲- مشخصات میلگرد استفاده شده در ساخت دال [۱۹]

قطر	مدول الاستیسیته (GPa)	ضریب پواسون	تنش نهایی کشش (MPa)	تنش نهایی فشاری (MPa)	چگالی (kg/m ³)
6	207.06	0.3	397.71	397.71	7850
8	203.06	0.3	519.50	519.50	7850
14	191.83	0.3	559.00	559.00	7850

۳-۱- مدلسازی و مشخصات دال

۳-۱-۱- مدلسازی و مشخصات دال جهت کالیبراسیون

نرم افزار المان محدود

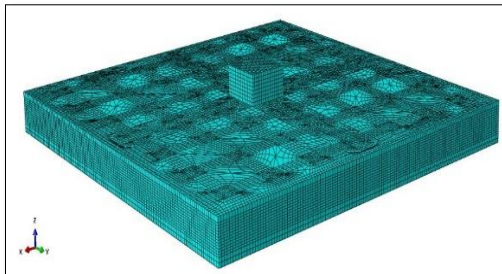
نرم افزار ABAQUS 6.19 امکان معرفی رفتار بتن تحت مدل های مختلف را داراست. در مدلسازی دالها از مدل پلاستیک آسیب دیده بتن استفاده شد. مدل پلاستیک آسیب دیده بتن مدل توانمندی است که برای بارگذاری مختلف کاربرد داشته و با بیان رفتار مجزای بتن در فشار و کشش، رفتار این ماده را بصورت واقعی تر بیان می کند. در این مدل با استفاده از مفاهیم الاستیک آسیب دیده ایزوتروپیک و پلاستیک کششی و فشاری، رفتار غیر خطی بتن بیان می شود. در این برنامه از المان سه بعدی ۴ گرهی از نوع مثلثی (المان C3D4) برای مدلسازی بتن، تکیه گاه و از المان دو گرهای میله ای (T3D2) برای مدلسازی آرماتورها بهره برده شد. خواص فولادی و بتن نیز در برنامه اعمال گردید و تمامی قیدهای درگیر کننده این عناصر به نرم افزار معرفی شد.

۳-۱-۲- توصیف هندسه دال جهت کالیبراسیون نرم افزار

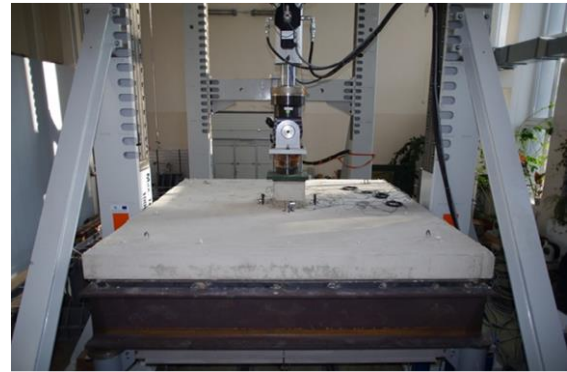
المان محدود

مدل هندسی نمونه آزمایشگاهی در نرم افزار ساخته شده است در شکل (۱) این مدل قابل مشاهده است. آزمایش روی دالهای مربعی با ابعاد ۳۰۹۰ در ۳۰۹۰ میلیمتر انجام شد. دالها روی چهار تکیه گاه ساده خطی به طول ۳۰۱۰ میلیمتر قرار داشتند. ضخامت کل دال ۲۷ سانتیمتر می باشد. بارگذاری با استفاده از جکی هیدرولیکی به صورت موضعی در سطحی به ابعاد ۱۰ در ۱۰ سانتیمتر اعمال گردید. مقاومت نمونه استوانه ای بتن مصرفی ۲۶،۵۱ مگاپاسکال است و جهت ایجاد برش منگنه ای در دالها، از نسبت فولاد به بتن بالایی استفاده شد. مشخصات آرماتور فولادی مورد استفاده مطابق جدول ۲ می باشد. میلگردهای واقع در سرفه پایین با قطر ۱۴ میلیمتر، میلگردهای واقع در سرفه بالا ۸ میلیمتر و سنجاقهای برشی با قطر ۶ میلیمتر می باشد.

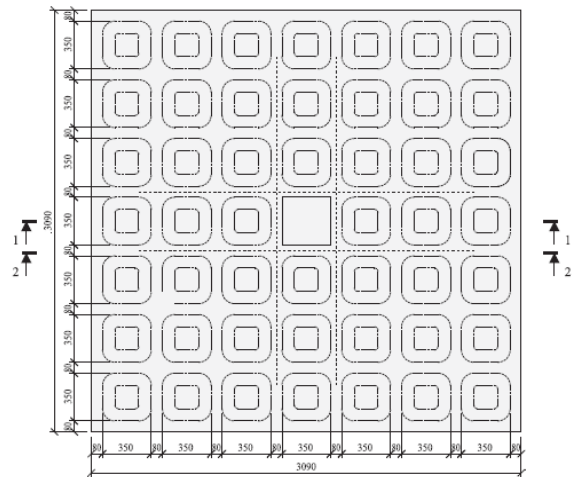
مش بندی مدل در شکل (۲) قابل مشاهده است. تحلیل استاتیکی غیرخطی انجام با بارگذاری مشابه آزمایش انجام شده است. نمونه نتایج مدل در شکل (۳) و کنتور تنش محوری میلگردها فولادی در شکل (۴) نشان داده شده است.



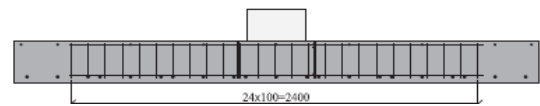
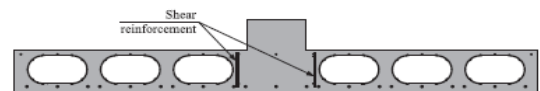
شکل ۲- مش بندی مدل اجزای محدود دال بتنی



(الف)



(ب)

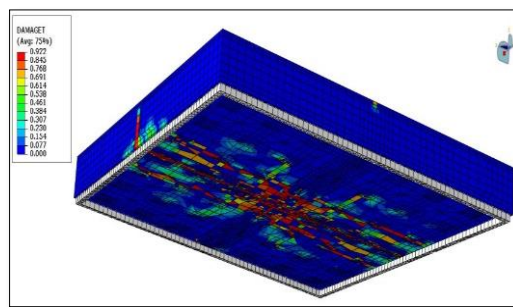


(ج)

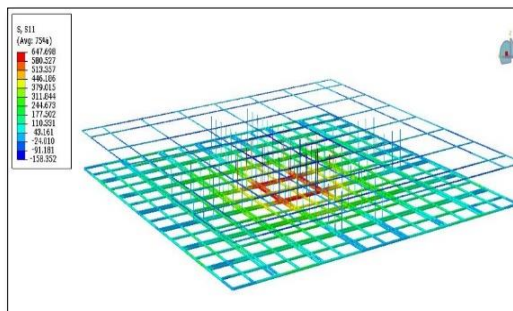
شکل ۱- الف- نمونه آزمایشگاهی دال آزمایش شده، ب- مشخصات

هندسی نمونه آزمایشگاهی ج- مشخصات آرماتورگذاری [۱۹]

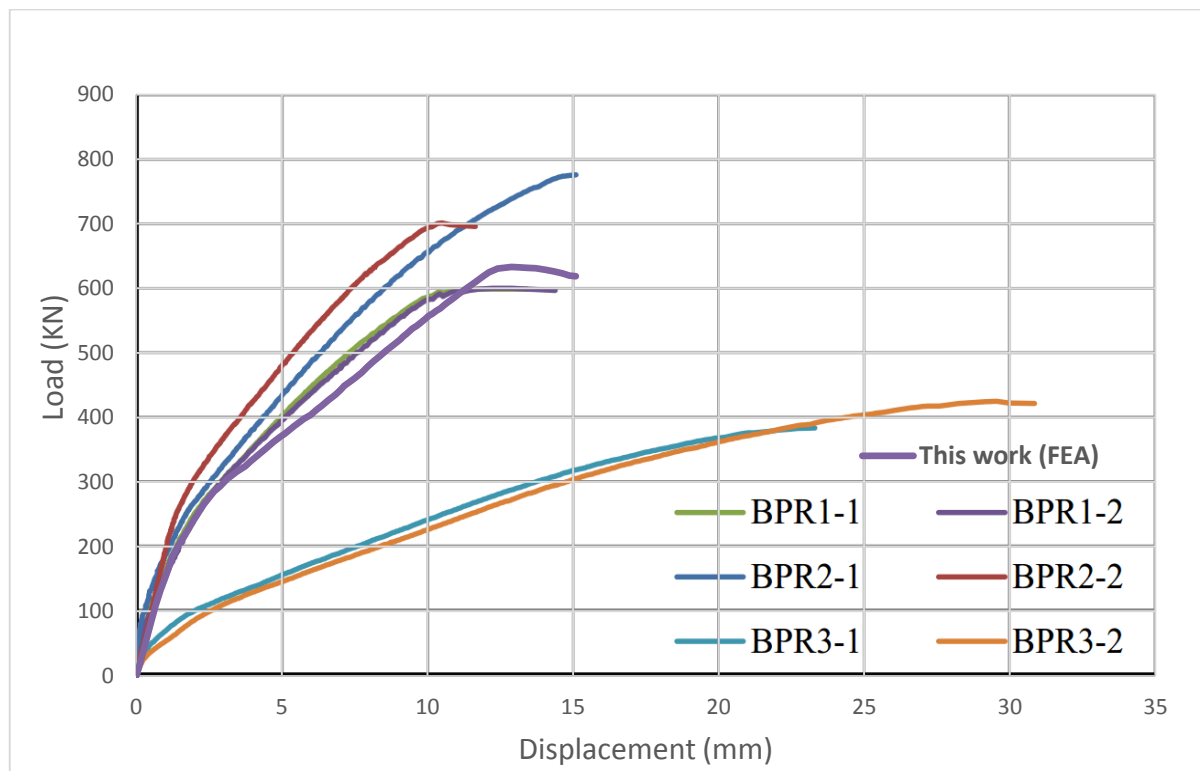
در شکل (۵) نمودار بار اعمالی در برابر تغییرمکان وسط دال، رسم شد نتایج حاصل از آزمایش با نمودار بار اعمالی در برابر تغییرمکان بدست آمده از روش اجزای محدود با هم مقایسه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، دو نمودار در قسمت خطی اولیه انطباق کامل دارند. در بخش غیرخطی منحنی دو نمودار تا حدودی از هم فاصله می‌گیرند که بیشترین میزان این فاصله حدود ۵/۵٪ است. دلیل این تفاوت را می‌توان به ساده‌سازی‌های استفاده شده در مدل اجزای محدود مانند منحنی‌های رفتاری مواد، تکیه‌گاهها، اندرکنش‌ها و بارگذاری و نیز خطاهای دستگاهی و انسانی در آزمایشگاه مربوط دانست. در قسمت انتهایی منحنی‌ها بر هم منطبق هستند. با توجه به انطباق مناسب منحنی‌ها و تفاوت کمتر از ۵/۵٪ بین آنها مدل‌های اجزای محدود دال دارای دقت مناسبی در پیش‌بینی رفتار واقعی دال هستند و می‌توان به نتایج حاصل از شبیه‌سازی اعتماد نمود.



شکل ۳- کانتور خرابی کششی در مدل اجزای محدود دال بتنی



شکل ۴- کنتور تنش محوری میلگردها فولادی



شکل ۵- مقایسه نمودار نیرو-جابجایی مربوط به آزمایش و مدل‌سازی عددی

عنوان تکیه‌گاه قرار گرفتند. ضخامت کل دال ۱۲ سانتیمتر می‌باشد. بارگذاری روی سطح‌های مربعی به ابعاد 7×7 سانتیمتر که با زوایای مختلف چرخش داده شدند، اعمال گردید. مقاومت نمونه استوانه‌ای بتن مصرفی ۳۰ مگا پاسکال است که مشخصات آن در جدول (۳) آورده شده است و جهت ایجاد برش منگنه‌ای در دالها، از نسبت فولاد به بتن

۳-۱-۳- توصیف هندسه سایر دالها در نرم‌افزار المان محدود

مطابق شکل (۶) مدل‌های هندسی روی دالهای مجوف با ابعاد ۱۳۰۰ در ۱۳۰۰ میلیمتر انجام شد. دالها روی شاسی صلب به

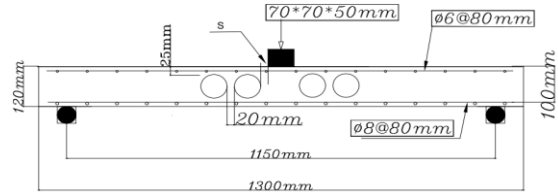
جدول ۴- خواص میلگرد

قطر	مدول الاستیسیته (GPa)	ضریب پواسون	تنش نهایی کشش (MPa)	تنش نهایی فشاری (MPa)	چگالی (kg/m ³)
6	210	0.3	500	340	7850
8	210	0.3	600	400	7850

۴- اثر زاویه چرخش ستون و فاصله گوی‌های کروی از لبه ستون بر ظرفیت برش منگنه‌ای

مطابق جدول (۵) ۸۴ نمونه دال مجوف دو طرفه که ستون دال با زاویه‌های مختلف در جهت خلاف عقربه‌های ساعت چرخیده است و در این نمونه‌ها گوی‌های کروی با آرایش بندی مربعی چیده شده و در فاصله‌های مختلف از بر ستون قرار گرفته‌اند مدلسازی شد و ظرفیت برش منگنه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۷) نمونه دالهای (۱، ۱۳، ۲۵، ۳۷، ۴۹، ۶۱ و ۷۳) را جهت درک بهتر مدلسازی نشان می‌دهد.

بالایی استفاده شد. مشخصات آرماتور فولادی مورد استفاده مطابق جدول (۴) می‌باشد. میلگردهای واقع در سفره پایین با قطر ۸ میلیمتر، میلگردهای واقع در سفره بالا ۶ میلیمتر می‌باشد. قطر گویها ۷ سانتی‌متر است و فاصله مرکز به مرکز آنها ۸ سانتی‌متر می‌باشد.



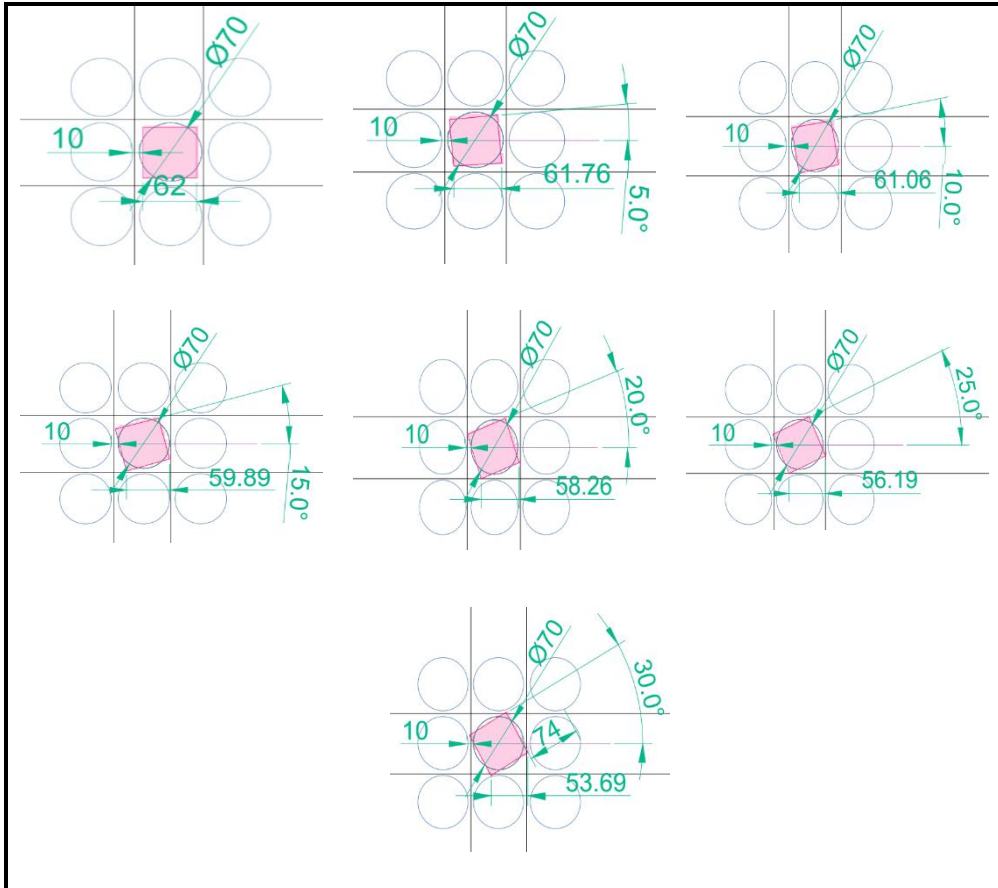
شکل ۶- مشخصات هندسی و آرماتور گذاری دال مجوف دو طرفه با آرایش بندی مربع در المان محدود

جدول ۳- خواص بتن

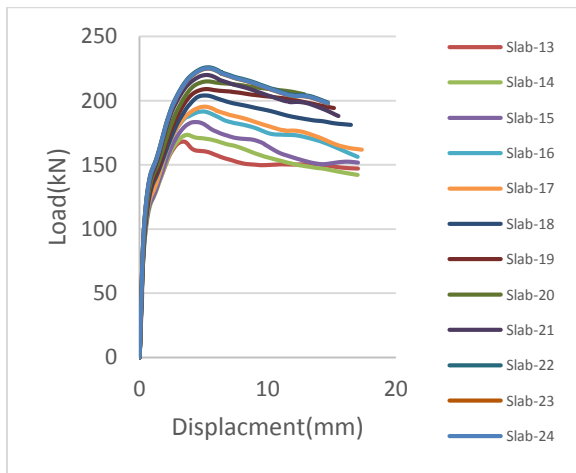
مدول الاستیسیته (GPa)	ضریب پواسون	تنش نهایی کشش (MPa)	تنش نهایی فشاری (MPa)	چگالی (kg/m ³)
25	0.15	3	30	2400

جدول ۵- تیپ بندی مدل‌های دال بر اساس زاویه چرخش و فاصله گوی‌ها از لبه ستون جهت استفاده در مطالعات شبیه سازی عددی

	$\Theta=0^\circ$	$\Theta=5^\circ$	$\Theta=10^\circ$	$\Theta=15^\circ$	$\Theta=20^\circ$	$\Theta=25^\circ$	$\Theta=30^\circ$
S=10 mm	Slab-1	Slab-13	Slab-25	Slab-37	Slab-49	Slab-61	Slab-73
S=20 mm	Slab-2	Slab-14	Slab-26	Slab-38	Slab-50	Slab-62	Slab-74
S=30 mm	Slab-3	Slab-15	Slab-27	Slab-39	Slab-51	Slab-63	Slab-75
S=40 mm	Slab-4	Slab-16	Slab-28	Slab-40	Slab-52	Slab-64	Slab-76
S=50 mm	Slab-5	Slab-17	Slab-29	Slab-41	Slab-53	Slab-65	Slab-77
S=60 mm	Slab-6	Slab-18	Slab-30	Slab-42	Slab-54	Slab-66	Slab-78
S=70 mm	Slab-7	Slab-19	Slab-31	Slab-43	Slab-55	Slab-67	Slab-79
S=80 mm	Slab-8	Slab-20	Slab-32	Slab-44	Slab-56	Slab-68	Slab-80
S=90 mm	Slab-9	Slab-21	Slab-33	Slab-45	Slab-57	Slab-69	Slab-81
S=100 mm	Slab-10	Slab-22	Slab-34	Slab-46	Slab-58	Slab-70	Slab-82
S=110 mm	Slab-11	Slab-23	Slab-35	Slab-47	Slab-59	Slab-71	Slab-83
S=120 mm	Slab-12	Slab-24	Slab-36	Slab-48	Slab-60	Slab-72	Slab-84

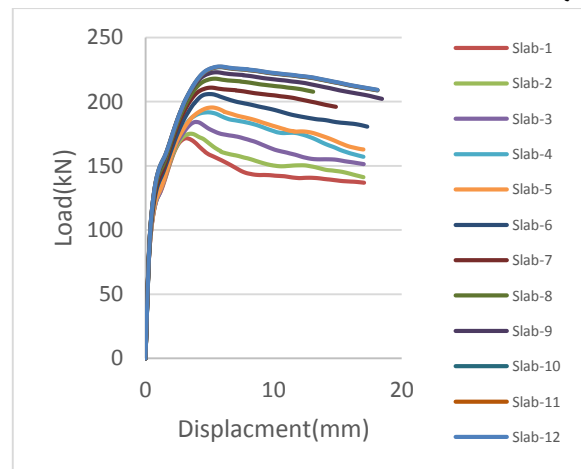


شکل ۷- چرخش ستون در نمونه دالهای (Slab-1, 13, 25, 37, 49, 61, 73) با زوایای مختلف در فاصله $S=10$ mm گوی‌ها از بر ستون

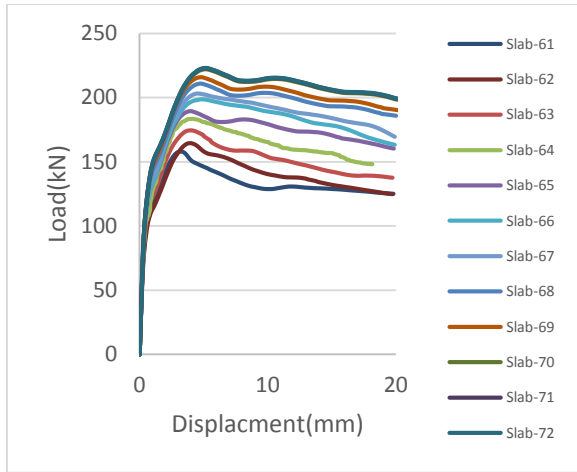


شکل ۹- نمودار بار- جابجایی دال مجوف دو طرفه با زاویه چرخش ۵ درجه ستون، در فواصل مختلف گوی‌ها

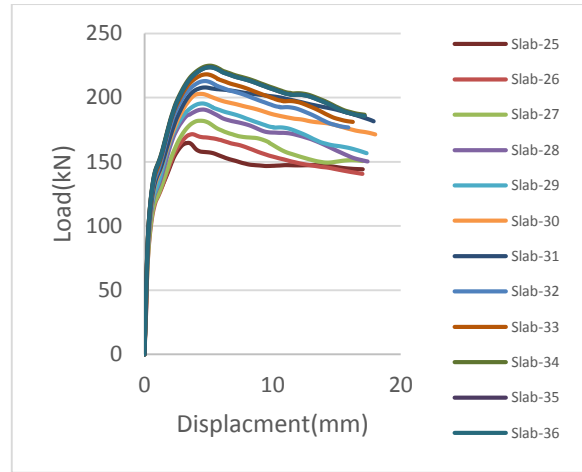
شکل‌های (۸) تا (۱۴) نمودار بار- جابجایی دالهای مجوف دو طرفه با در نظر گرفتن اثر زاویه چرخش ستون و فاصله گوی‌ها از بر ستون را نشان می‌دهد. با افزایش فاصله گوی‌ها از بر ستون، همچنانکه ظرفیت برش منگنه‌ای افزایش پیدا می‌کند اثر زاویه چرخش بر میزان ظرفیت برش منگنه‌ای کاسته شده تا جایی که در فاصله $(S \geq d)$ آهنگ تغییرات ظرفیت برش منگنه‌ای ثابت گردیده و زاویه چرخش تاثیری بر آن نخواهد داشت. این پدیده را می‌توان در اشکال (۸ تا ۱۴) مشاهده نمود.



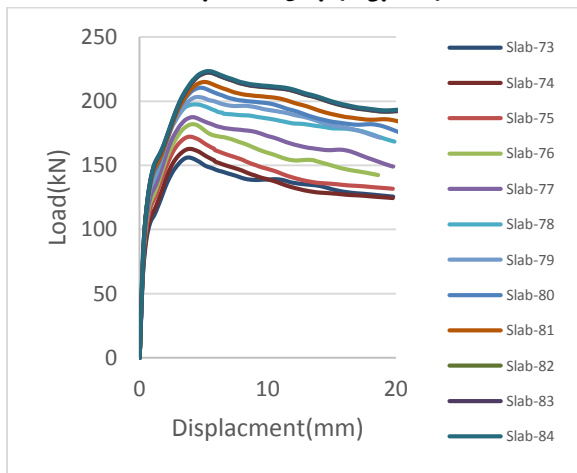
شکل ۸- نمودار بار- جابجایی دال مجوف دو طرفه با زاویه چرخش ۰ درجه ستون، در فواصل مختلف گوی‌ها



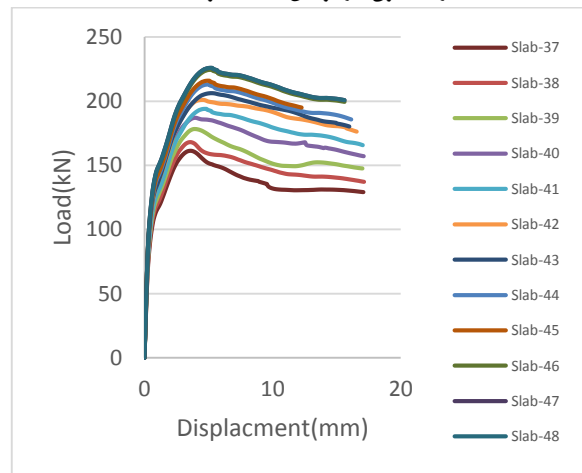
شکل ۱۳- نمودار بار- جابجایی دال مجوف دو طرفه با زاویه چرخش ۲۵ درجه ستون، در فواصل مختلف گوی ها



شکل ۱۰- نمودار بار- جابجایی دال مجوف دو طرفه با زاویه چرخش ۱۰ درجه ستون، در فواصل مختلف گوی ها

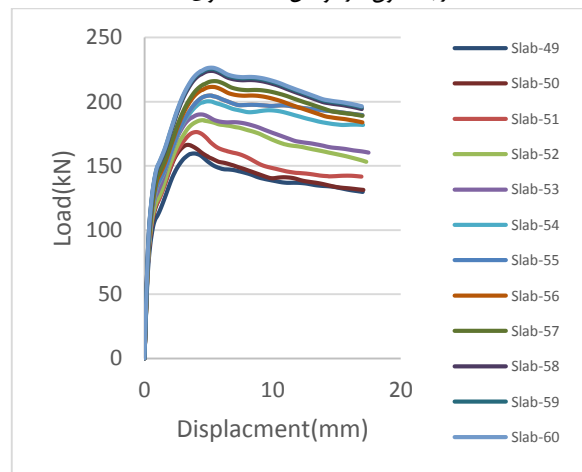


شکل ۱۴- نمودار بار- جابجایی دال مجوف دو طرفه با زاویه چرخش ۳۰ درجه ستون، در فواصل مختلف گوی ها



شکل ۱۱- نمودار بار- جابجایی دال مجوف دو طرفه با زاویه چرخش ۱۵ درجه ستون، در فواصل مختلف گوی ها

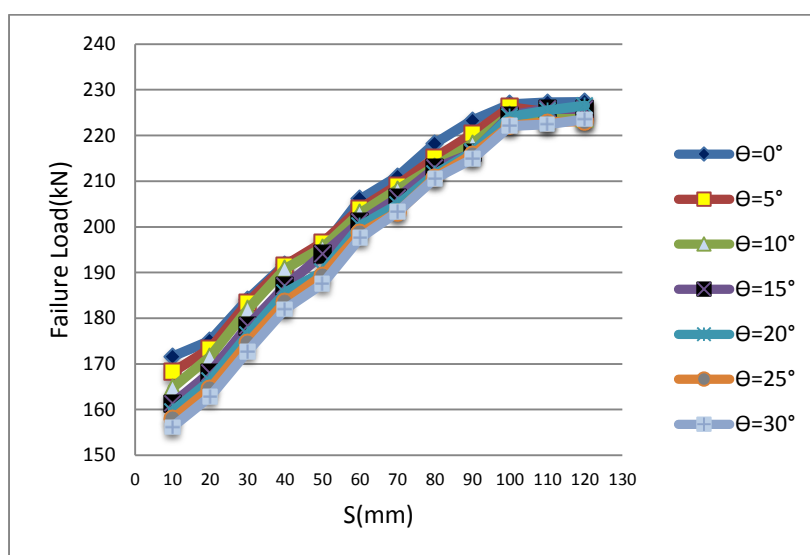
شکل (۷)، جدول (۶) و نمودار شکل (۱۵) نشان می‌دهد که تاثیر منفی زوایای چرخش روی ظرفیت برش منگنه‌ای، با زاویه‌های $\theta = 15^\circ$ ، 20° ، 25° ، 30° و در فواصل $(S \leq d/2)$ گوی‌های کروی از لبه ستون می‌باشد. بعد از این فاصله $(S \geq d/2)$ ظرفیت برش منگنه‌ای در تمامی زوایای چرخش ستون افزایش یافته و از فاصله $(S \geq d)$ گوی‌ها از لبه ستون مقدار آن ثابت گردیده است.



شکل ۱۲- نمودار بار- جابجایی دال مجوف دو طرفه با زاویه چرخش ۲۰ درجه ستون، در فواصل مختلف گوی‌ها

جدول ۶- نتایج ظرفیت برش منگنه‌ای نهایی بدست آمده از شبیه‌سازی عددی تحت اثر زاویه چرخش و فاصله گوی از لبه ستون

S(mm)	$\Theta=0^\circ$	$\Theta=5^\circ$	$\Theta=10^\circ$	$\Theta=15^\circ$	$\Theta=20^\circ$	$\Theta=25^\circ$	$\Theta=30^\circ$
10	171.64	168.20	164.77	161.34	159.62	157.90	156.19
20	175.06	173.30	171.55	168.05	166.30	164.55	162.80
30	184.15	183.41	181.94	178.25	176.41	174.57	172.73
40	191.77	191.57	190.81	186.97	185.63	183.52	181.98
d/2=50	195.35	196.56	195.48	193.98	190.15	189.32	187.56
60	206.04	204.03	203.05	201.02	200.23	198.63	197.56
70	211.03	209.10	208.20	206.32	204.84	203.15	203.25
80	218.26	215.17	213.16	212.85	211.58	210.85	210.56
90	223.32	220.30	218.21	216.14	216.35	215.85	214.89
d=100	226.85	226.23	224.56	224.45	224.12	222.16	222.09
110	227.25	225.1	223.59	225.8	225.48	222.89	222.45
120	227.36	225.18	223.65	225.86	226.58	223.11	223.52

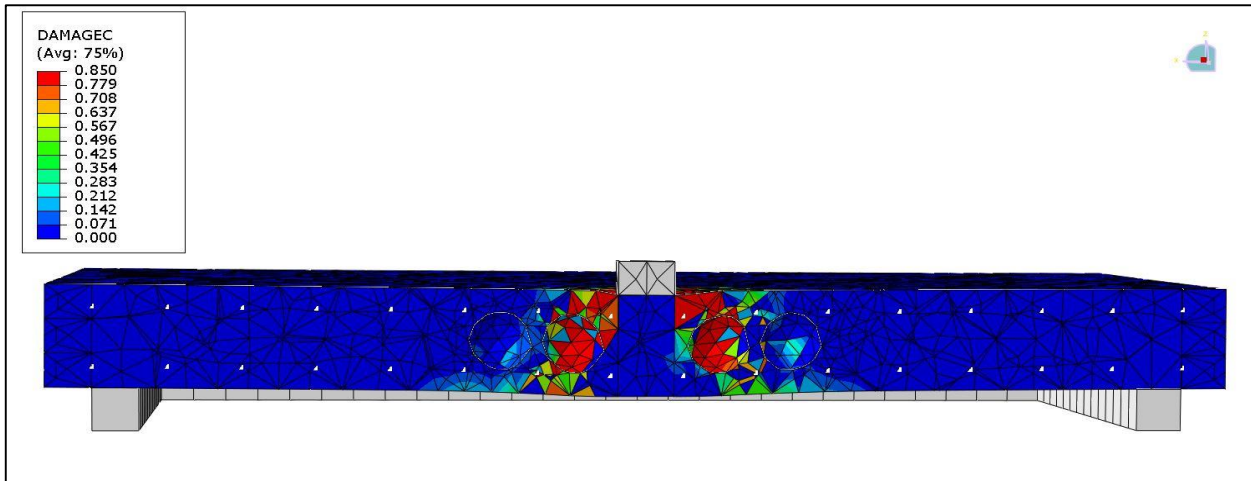


شکل ۱۵- نمودار تغییرات ظرفیت برش منگنه‌ای نهایی بدست آمده از شبیه‌سازی عددی تحت اثر زاویه چرخش و فاصله گوی از لبه ستون

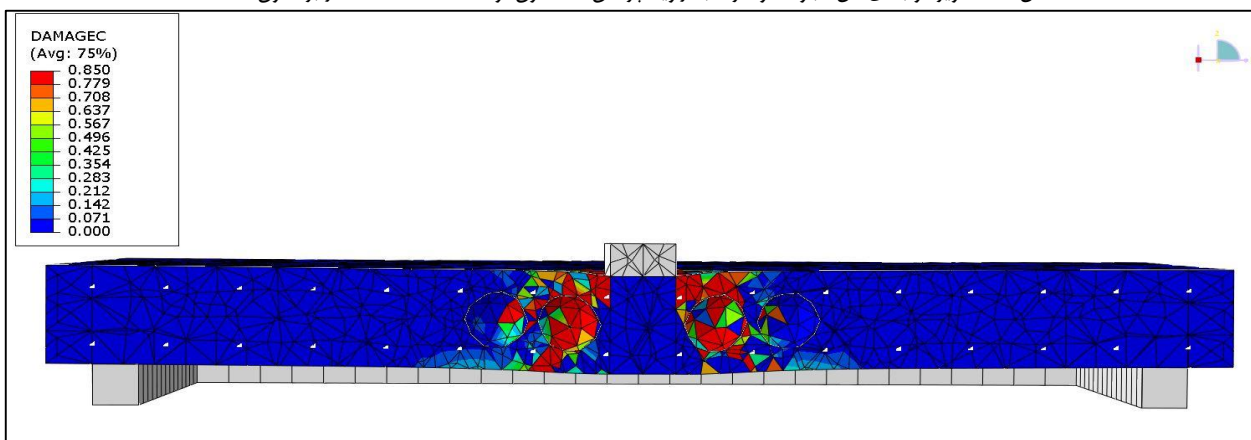
این مطالعه انتخاب شده است. همچنانکه قبلاً نیز اشاره گردید در شرایطی که فاصله گوی‌ها از لبه ستون کمتر از d باشد با افزایش زاویه چرخش ستون ظرفیت برش منگنه‌ای کاسته می‌شود علت این امر وجود ناحیه مستعد خرابی در فاصله کمتر از (d) می‌باشد. این پدیده شکست را می‌توان در اشکال (۱۷) تا (۲۰) مشاهده نمود.

۴-۱- بررسی مکانیزم خرابی در دالها

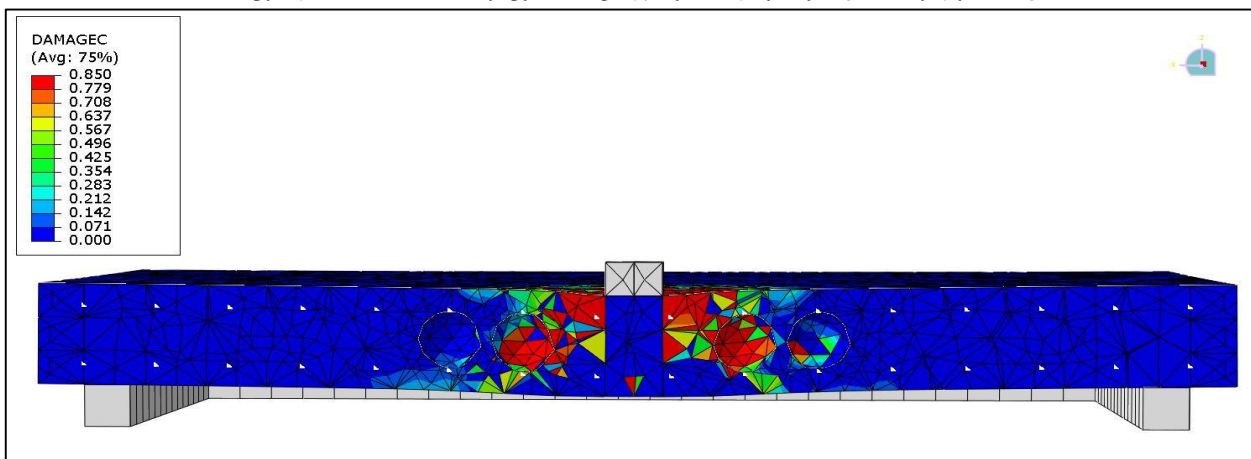
در این بخش به بررسی و مقایسه وضعیت خرابی مدل‌های شبیه‌سازی شده در برنامه المان محدود آباکوس پرداخته شده است به منظور واضح نشان دادن اختلاف شکست و اختلاف برش منگنه‌ای به علت زاویه چرخش ستون و فاصله گوی‌ها حالات مختلفی از اثر این دو متغیر در



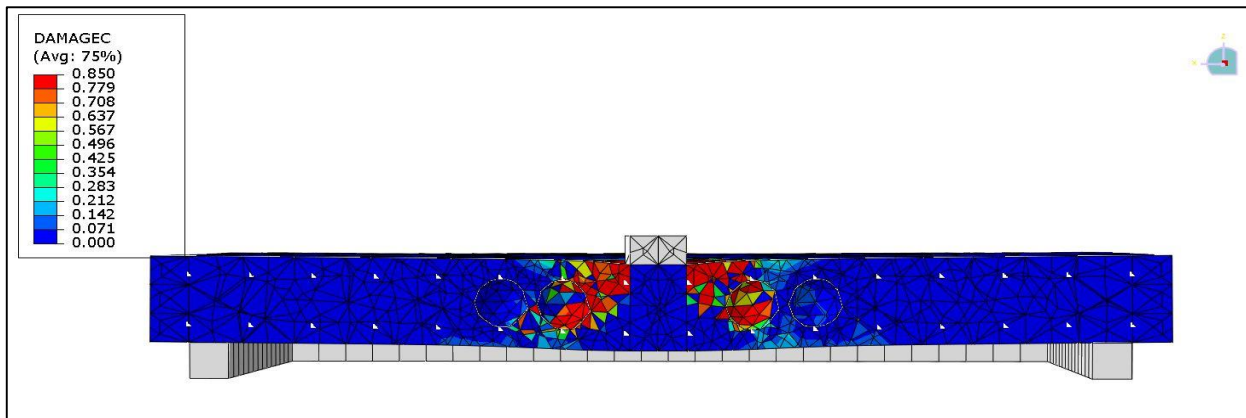
شکل ۱۷- تصویر دو بعدی دال مجوف دو طرفه با زاویه چرخش 0° ستون و فاصله $S=10\text{mm}$ از بر ستون



شکل ۱۸- تصویر دو بعدی دال مجوف دو طرفه با زاویه چرخش 30° ستون و فاصله $S=10\text{mm}$ از بر ستون



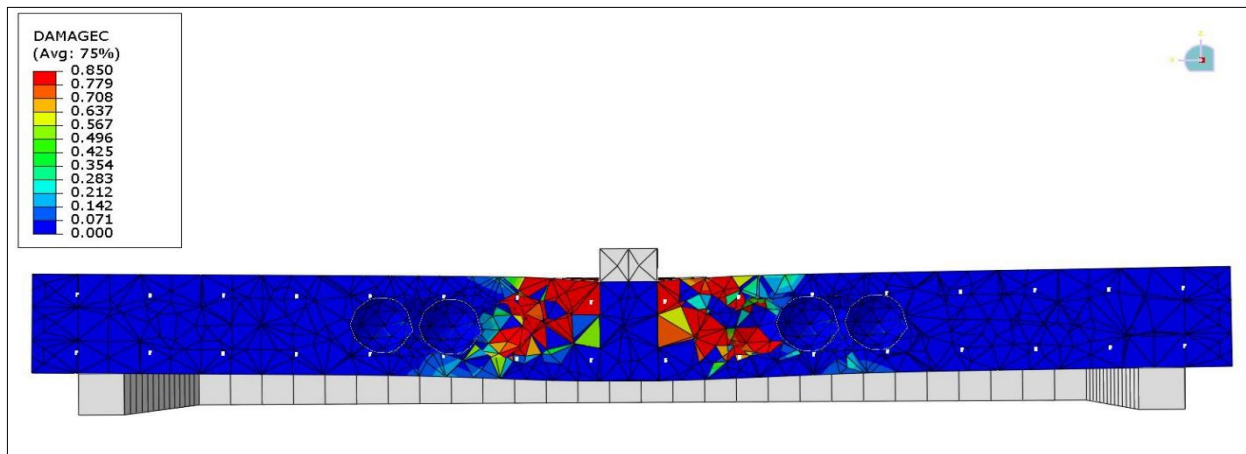
شکل ۱۹- تصویر دو بعدی دال مجوف دو طرفه با زاویه چرخش 0° ستون و فاصله $S=50\text{mm}$ از بر ستون



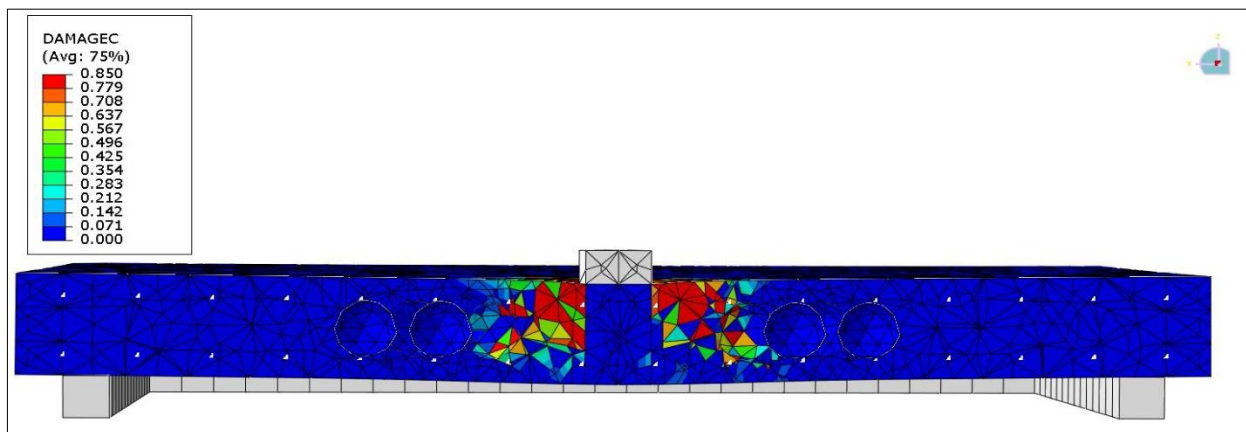
شکل ۲۰- تصویر دو بعدی دال مجوف دو طرفه با زاویه چرخش 30° ستون و فاصله $S=50\text{mm}$ از بر ستون

که ظرفیت برش منگنه‌ای به S و زاویه چرخش θ بستگی دارد ولی میزان و شکل خرابی مستقل از هر دو متغیر (فاصله و چرخش) می‌باشد.

در ادامه همچنانکه در اشکال (۲۱) و (۲۲) مشاهده می‌گردد با افزایش فاصله گوی‌ها از لبه ستون $S \geq d$ زاویه چرخش ستون تأثیری بر میزان برش منگنه‌ای ندارد چرا که این فاصله $S \geq d$ مستعد خرابی نمی‌باشد. نتایج بررسی خرابی‌ها نشان می‌دهد



شکل ۲۱- تصویر دو بعدی دال مجوف دو طرفه با زاویه چرخش 0° ستون و فاصله $S=120\text{mm}$ از بر ستون



شکل ۲۲- تصویر دو بعدی دال مجوف دو طرفه با زاویه چرخش 30° ستون و فاصله $S=120\text{mm}$ از بر ستون

[7] Pfeffer, K., Krecov, D., Miedzik, G., Stuecklin, M., Module for the production of concrete elements and displacement body for this, Int. Cl. E04C 5/00, E04C 5/07, United State patent US 2009/ 0165420 A1, Jul. 2, 2009.

[8] Miedzik, G., Stuecklin, M., Half shell element for the production of a hollow body, Int. Cl. E04G 11/06, E04G 21/12, B23P 11/00, United State patent US 2012/0311959 A1, Dec. 13, 2012.

[9] Haussler, W., Honeycomb-structured hollow-block concrete floor, Int. Cl.7: E04B 1/18, United State patent US 2003/0110724 A1, Jun. 19, 2003.

[10] Febra, A.F., Lost mould element for manufacturing reinforced concrete flat slabs, Int., Cl.7: E04C 3/30, United State patent US 6,789,366 B1, Sep. 14, 2004.

[11] Grande Roberto, I., Embedment-type mould for manufacturing building slab structures, Int. Cl. E04B 5/32, Word Intellectual Property Organization, International patent WO 03/048471 A1, 12.06.2003.

[12] Rebelo, F., Eduarda Fanha, N., A better solution for the concrete boxes normally used in the fungiform pavements, Inc. Cl.7: E04B 5/21, European Patent Office, EP 0 884 427 B1, 03.04.2002.

[13] W.D.C. Farshad Habibi, Mitchell, D., Predicting post-punching shear response of slab-column connections., Struct. J. 111 (2014),

[14] Acciai, A., D'Ambrisi, A., De Stefano, M., Feo, L., Focacci, F., Nudo, R., Experimental response of FRP reinforced members without transverse reinforcement: failure modes and design issues, Compos. Part B Eng., Vol. 89, No. 2, 2016, pp 397–407.

[15] Meisami, M.H., Mostofinejad, D., Nakamura, H., Strengthening of flat slabs with FRP fan for punching shear, Compos. Struct., Vol. 119, No. 2, 2015, pp 305–314.

[16] Serrano, R., Cobo, A., Prieto, M.I., de las, M., González, N., Analysis of fire resistance of concrete with polypropylene or steel fibers, Constr. Build. Mater., Vol. 122, No. 2, 2016, pp 302–309.

[17] Eurocode 2, Design of Concrete Structures - Part 1–1: General Rules and Rules for Buildings, EN 1992-1-1, 2004.

[18] Winkler, K., Stangenberg, F., Numerical Analysis of Punching Shear Failure of Reinforced Concrete Slabs., ABAQUS Users' Conference Ruhr-University Bochum, Germany., Institute for Reinforced and Prestressed Concrete Structures., 2007, pp. 1-15.

[19] Valivonis. J, Skuturna.T, Daugevicius. M, Sneideris. A, Punching shear strength of reinforced concrete slabs with plastic void formers, Construction and Building Materials., vol. 145, No.4, 2017, pp 518-527.

۵- نتیجه گیری

- ۱- با افزایش فاصله گوی‌ها از بر ستون به میزان $(S \geq d)$ منحنی‌های بار- جابجایی با زاویه‌های مختلف روی همدیگر منطبق شده‌اند.
- ۲- با افزایش فاصله گوی‌ها از بر ستون تا $(S \geq d)$ با زاویه‌های مختلف، ظرفیت برش منگنه‌ای افزایش پیدا کرده سپس ثابت گردیده است.
- ۳- ظرفیت برش منگنه‌ای با زاویه‌های چرخش $(\theta = 15^\circ, 20^\circ)$ و فواصل $(25^\circ, 30^\circ)$ و گوی‌های کروی از لبه ستون کاهش می‌یابد. بعد از این فاصله $(S \geq d/2)$ ظرفیت برش منگنه‌ای در تمامی زوایای چرخش ستون افزایش یافته و از فاصله $(S \geq d)$ گوی‌ها از لبه ستون مقدار آن ثابت گردیده است.
- ۴- وقتی که فاصله گوی‌ها از لبه ستون کمتر از d باشد با افزایش زاویه چرخش ستون ظرفیت برش منگنه‌ای کاسته می‌شود علت این امر وجود ناحیه مستعد خرابی در فاصله کمتر از (d) می‌باشد.
- ۵- بررسی خرابی‌ها نشان می‌دهد که ظرفیت برش منگنه‌ای به S و زاویه چرخش θ بستگی دارد ولی میزان و شکل خرابی مستقل از هر دو متغیر (فاصله و چرخش) می‌باشد.

۶- مراجع

- [1] Cheng, M.Y., Chen, C. S., Preliminary planning efficiency evaluation for school buildings considering the tradeoffs of moop and planning preferences, Journal of Civil Engineering and Management., Vol.20, No. 2, 2014, pp 211–222.
- [2] Marčiukaitis, G., Šalna, R., Jonaitis, B., J. Valivonis, Calculation model for steel fiber reinforced concrete punching zones of bridge superstructure and foundation slabs, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering., Vol. 6, No. 3, 2011, pp 193–200.
- [3] Marčiukaitis, G., Šalna, R., Jonaitis, B., J. Valivonis, A model for strength and strain analysis of steel fiber reinforced concrete, Journal of Civil Engineering and Management., Vol. 17, No. 1, 2011, pp 137–145.
- [4] Šiožinytė, E., Antuchevičienė, J., Kutut, V., Upgrading the old vernacular building to contemporary norms: multiple criteria approach, Journal of Civil Engineering and Management., Vol.20, No. 2, 2014, pp 291–298.
- [5] Haag, V., Hauser, A., Pfeffer, Krecov, K. D., Method and auxiliary means for producing concrete elements, particularly semi-finished concrete products and/or concrete slabs, as well as auxiliary means for producing concrete slabs, Int. Cl. E04B 1/16, E04B 1/00, E04G 21/00, United State patent US 2007/ 0186506 A1, Aug. 16, 2007.
- [6] Breuning, K., System and method of displacement volumes in composite members, Word Intellectual Property Organization, International patent WO 2010/076757 A9., 08.07.2010.

Investigation of the Effect of Trigonometric Rotation of the Column on Punching Shear Capacity in Two-Way Hollow Slabs Using Finite Element Metho

Hadi Azizian

Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Mahabad branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran
Lotfollahi Yaghin. A.* M

Civil Engineering Faculty, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Alaeddin Behravesht

Professor, Department of Civil Engineering, Mahabad branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.

lotfollahi@tabrizu.ac.ir

Abstract:

Considering that the execution of column in two-way hollow slabs has some limitations especially in terms of architecture, so in some executions, the column has to be rotated, which will change the spherical balls spacing of the column edge and change the punching shear capacity. In this field of study, no laboratory research and numerical analysis have been performed so far. In the present research, after calibration of ABAQUS finite element software to experimental results, the effect of square column rotation with different spherical balls spacing from column edge, on punching shear capacity and failure mechanism (areas prone to damage) in two-way hollow slab is investigated. The results present that by increasing the spacing of spherical balls from column edge to $(S \geq d)$ at different angles of rotation, the punching capacity increases and then stabilizes. Under conditions where the spherical balls' distance from the edge of the column is less than (d) , the punching shear capacity is reduced by increasing the angle of rotation of the column. This is due to the presence of a damage-prone area at a distance less than (d) .

Keywords: Two-way Hollow Slab, Trigonometric rotation of column, Punching Shear Capacity, Finite Element Analysis.