

بررسی ضریب رفتار قاب خمشی بتنی با دال مجوف بتنی با قالب کرووی و مکعبی ماندگار

پیمان امیری^۱، سیدعلی سیدرزاقی^{۲*}

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشگاه پیام نور، تهران

^۲ استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران

دریافت: ۱۳۹۸/۷/۴، پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۱، نشر آنلاین: ۱۴۰۰/۲/۱

چکیده

به منظور جلوگیری از خسارات ناشی از زلزله در انواع سازه و از جمله ساختمان‌های بتنی، روش‌های متعددی توسط مهندسان سازه به کار گرفته می‌شود. مهندسان طراح و مجری به منظور در نظر گرفتن شرایط کار و طراحی ممکن است در طول اجرا از مواردی همچون دال‌های ساده، مجوف کرووی (Spherical voided slab) و مجوف مکعبی (Cubic hollow slab) استفاده نمایند تا نیازهای سازه بر طرف شود. این مقاله سعی دارد عملکرد این سازه‌ها را در شرایط مختلف مقایسه کرده و تأثیر آن‌ها بر ضریب رفتار سازه را مورد ارزیابی قرار دهد. بدین منظور با استفاده از نرم‌افزار تحلیل المان محدود آباکوس (ABAQUS)، قاب خمشی یک طبقه و یک دهانه با انواع دال بتنی مدل‌سازی شده و تحلیل پش‌آور بر روی آن صورت پذیرفته است. در شرایط استفاده از انواع مختلف دال بتن مسلح ساده، مجوف مکعبی و کرووی ضریب رفتار سازه محاسبه و مقایسه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد، استفاده از دال مجوف مکعبی و دال مجوف کرووی می‌تواند ضریب رفتار قاب خمشی را به ترتیب ۳۲/۷۹ و ۴۶/۳ درصد در مقایسه با دال معمولی توپر افزایش دهند.

کلیدواژه‌ها: رفتار لرزه‌ای، ضریب رفتار، شکل‌پذیری، دال مجوف کرووی، دال مجوف مکعبی، قاب خمشی بتنی.

۱- مقدمه

دال مجوف کرووی با حذف بتن غیر مؤثر در هسته مرکزی بتن علاوه بر کاهش بار مرده دال، افزایش بیشتر طول دهانه را ممکن می‌سازد و باعث کاهش تغییر مکان می‌شود (دهب‌زاده و طامهری-زاده، ۱۳۹۳).

مطالعات نشان می‌دهد استفاده از دال مجوف با قالب کرووی علی‌رغم کاهش قابل توجه مقدار بتن، تأثیرات چندانی در سختی و مقاومت دال نداشته و به دلیل رفتار قوسی بتن منجر به بهبود ظرفیت تحمل بار ثقلی دال می‌شود (Lai, ۲۰۰۹).

مزایای متعدد دال‌های مجوف موجب گردید آیین‌نامه DIN1045 در سال (۲۰۰۱) برای طراحی دال‌های توخالی، تدوین شود. همچنین محققانی همچون Scott (۱۹۷۳)، Ueda و Stitmann (۱۹۹۱)، Schenellenbach و همکاران (۱۹۹۹)، Nielsen (۱۹۹۸)، Amerm و همکاران (۲۰۱۳)، Lai (۲۰۰۹)، در شرایط مختلف نسبت ابعادی، به بررسی عملکرد، شرایط ترک خوردگی و اثرات برش پانچ دال مجوف پرداخته‌اند. همچنین

دال‌های بتن‌آرمه به دلیل داشتن رفتار و عملکرد مناسب، شکل‌پذیری و سهولت در اجرا از سقف‌های پرکاربرد در صنعت ساختمان‌سازی محسوب می‌شوند. اجرای سازه‌های سبک با مقاومت و سرعت اجرای بالا که عملکرد سازه‌ای مناسبی داشته باشند، همواره مورد توجه مهندسان سازه بوده است. در این مورد می‌توان به دال مجوف کرووی و دال مجوف مکعبی اشاره کرد که از پرکاربردترین انواع این سقف‌ها می‌باشند. این سقف‌ها علاوه بر امکان مطابقت با پلان‌های گوناگون، به دلیل سبک بودن، اثرات قابل توجهی در طراحی سازه در مقابل زلزله دارند. در سال‌های اخیر دال مجوف مکعبی و دال مجوف کرووی برای استفاده در سازه‌های مختلف به عنوان دیافراگم مورد توجه بیشتری قرار گرفته‌اند. دیافراگم کف از اساسی‌ترین اجزای ساختمان می‌باشد که نحوه رفتار ساختمان در برابر نیروهای جانبی تا حد قابل ملاحظه‌ای به مشخصات و رفتار آن بستگی دارد (ACI 318-05).

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۲۱-۲۲۴۴۱۴۷۱

در این مقاله رفتار بتن بر اساس مدل خرابی پلاستیک بتن در نظر گرفته شده است. در این مدل توابع مقاومت تک‌محوره به دو بخش تقسیم می‌شوند. بخشی به‌منظور بیان تغییر شکل‌های پایدار و یا پلاستیک و بخشی به‌منظور بیان تنزل سختی می‌باشد. در این روش دو نوع مکانیزم خرابی یکی خرابی ناشی از ترک‌های کششی و دیگری خرابی ناشی از فروپاشی فشاری برای مصالح بتنی در نظر گرفته می‌شود. در هر مرحله از رفتار بتن پس از ناحیه خطی می‌توان خرابی بتن را با مقادیر پارامتر خرابی در کشش و فشار نشان داد که مقدار صفر آن به معنای سالم بودن کامل المان بتنی و مقدار یک آن به معنای آن است که المان به‌طور کامل خراب شده و سختی خود را از دست داده است. در برنامه آباکوس رفتار پس از ترک‌خوردگی را می‌توان به‌صورت رابطه بین تنش کششی برحسب کرنش ترک‌خوردگی و یا تابعی از جابه‌جایی ترک‌خوردگی تعریف نمود. در این تحقیق، مدل ساختاری بتن در کشش را بر حسب کرنش معرفی می‌شود.

در این پژوهش از رابطه نرم‌شدگی غیرخطی که توسط Shima و همکاران (۱۹۸۷) ارائه گردیده است استفاده شده است.

$$\sigma_t = f_t \left\{ \frac{\varepsilon_{tu}}{\varepsilon_t} \right\}^c \quad (1)$$

در این رابطه ε_{tu} دو برابر کرنش ترک‌خوردگی می‌باشد. مقدار c برای آرماتورهای آج‌دار برابر ۰/۴ و برای شبکه فولادی جوش شده برابر با ۰/۲ می‌باشد.

۳- اعتبارسنجی

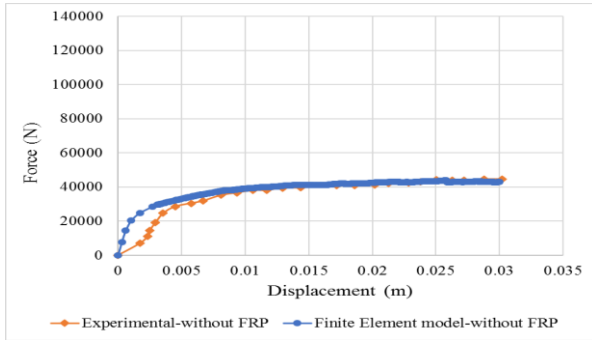
برای اعتبارسنجی مدل‌سازی و رفتار مصالح، دال بتن مسلح دو طرفه مورد استفاده توسط Limam و همکارانش در سال ۲۰۰۵ با ابعاد ۷ سانتی‌متر ضخامت، ۱۳۰ سانتی‌متر عرض و ۱۷۰ سانتی‌متر طول نیز به‌عنوان مدل اصلی در نظر گرفته شده است. شبکه تسلیح میلگردهای فولادی با فاصله ۲۰ سانتی‌متر در قطر ۶ میلی‌متر و پوشش بتن ۱۷ میلی‌متر به‌منظور مدل‌سازی در نرم‌افزار آباکوس انتخاب شده است. مقاومت فشاری بتن ۳۰ مگاپاسکال با مدول الاستیسیته^۴ ۲۵ گیگاپاسکال می‌باشد. مقاومت تسلیح فولاد تسلیح حدود ۵۴۰ مگاپاسکال با مدول الاستیسیته ۲۰۰ گیگاپاسکال می‌باشد. دال بتن مسلح که هر چهار طرف آن بر روی تکیه‌گاه ساده قرار داده شده است و بار آن به‌صورت متمرکز به مرکز دال وارد می‌شود در شکل (۱) نمایش داده شده است.

محققانی همچون Schenellenbach و Pefferer (۲۰۰۲)؛ Gudmand (۲۰۰۳)؛ Dowell و Smith (۲۰۰۶)، به بررسی رفتار برشی، خمشی و انعطاف‌پذیری دال مجوف پرداخته‌اند. برای کنترل برش پانچ در دال‌های مجوف در محل ستون‌ها، Valivonis و همکاران در سال (۲۰۱۷) پیشنهاد کردند که در محل اتصال ستون و دال، در دو راستای متعامد قالب‌های مجوف کار گذاشته نشود و نشان دادند که در این شرایط ظرفیت برش پانچ ۱۸ درصد افزایش داشته است. در پژوهشی Al-Gasham و همکاران (۲۰۲۰) برای کنترل این پدیده پیشنهاد کردند که ورق‌های فولادی در دو راستای متعامد در محل اتصال ستون در دال مجوف به‌کار گرفته شوند. بدین ترتیب با انجام مطالعات آزمایشگاهی و عددی بهبود عملکرد دال مجوف در برابر اثرات برشی را نشان دادند. همچنین در سال‌های اخیر برای ارزیابی رفتار دال‌های مجوف و بهبود عملکرد آن‌ها در برابر بارهای وارده مطالعات متعددی توسط Chung و همکاران (۲۰۱۵)؛ Musmar (۲۰۲۰)؛ Yik و همکاران (۲۰۲۰)؛ Khouzani و همکاران (۲۰۲۰)، انجام شده است.

یکی از پارامترهای مغفول مانده در مطالعات صورت گرفته در مورد دال‌های مجوف، شکل‌پذیری و ضریب رفتار آن‌ها است که تأثیر بسزایی در عملکرد لرزه‌ای انواع سیستم‌های سازه‌ای دارد. در این مقاله سعی شده است، به بررسی این پارامترها در شرایط دال معمولی، دال مجوف کروی و دال مجوف مکعبی پرداخته شود. بدین منظور قاب خمشی یک طبقه و یک دهانه با به‌کارگیری دال در شرایط مختلف معمولی و مجوف تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی با اعمال بار جانبی قرار گرفته است. مدل‌سازی در نرم‌افزار المان محدود آباکوس (ABAQUS، ۲۰۱۰) صورت گرفته و بر اساس روابط ارائه‌شده توسط یانگ به محاسبه و ارزیابی ضریب رفتار سازه‌ها پرداخته شده است.

۲- مدل‌سازی رفتار مصالح

برای مدل‌سازی آرماتور فولادی از مدل پلاستیسیته کلاسیک فلزات موجود در آباکوس استفاده شده است. این مدل از سطح تسلیم فون میسز^۱ با جریان پلاستیک وابسته استفاده می‌کند که تسلیم ایزوتروپیک^۲ را ممکن می‌سازد. با استفاده از این مدل، امکان تعریف رفتار پلاستیک کامل یا رفتار سخت‌شوندگی ایزوتروپیک و یا کینماتیک^۳ وجود دارد که در واقعیت سخت‌شوندگی فولاد ترکیبی از خصوصیات ایزوتروپیک و کینماتیک (مرکب) است. در مدل‌سازی آباکوس برای میلگردها از سطح تسلیم فون میسز استفاده شده است.



شکل ۳- منحنی‌های بار- تغییر مکان مرکز دال تقویت نشده در مدل‌های المان محدود و آزمایشگاهی

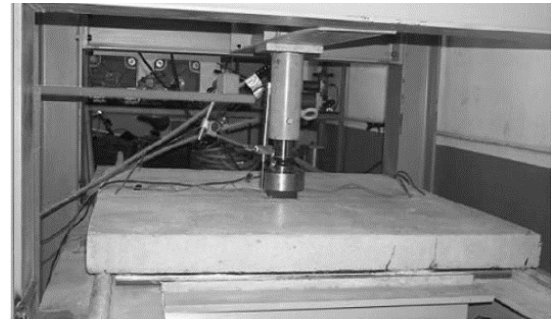
۴- مدل‌های سازه‌ای مورد مطالعه

در این بخش رفتار جانبی ساختمان قاب خمشی یک طبقه با دال معمولی، دال مجوف کروی و مکعبی در نرم‌افزار آباکوس مدل‌سازی شده است. ساختمان مورد بررسی در محل با خطر لرزه‌خیزی شدید (نسبت شتاب مبنای طرح برابر ۰/۳) و خاک نوع III در نظر گرفته شده است. کاربری ساختمان مسکونی با درجه اهمیت یک است که بر اساس گروه ۳ کاربری در آیین‌نامه ۲۸۰۰ انتخاب شده است. طول و عرض دال برابر با ۵ متر و ابعاد تیر و ستون ۳۰ سانتی‌متر در ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. استفاده از تیرهای ساختمانی به منظور کنترل برش پانچ صورت گرفته است.

مشخصات بتن شامل مقاومت فشاری بتن ۲۸ مگاپاسکال و مدول الاستیسیته آن ۳۰ گیگاپاسکال در نظر گرفته شده است. مقاومت تسلیم فولاد تسلیح ۴۰۰ مگاپاسکال با مدول الاستیسیته ۲۰۰ گیگاپاسکال انتخاب شده است (جدول (۱)). ضخامت دال برابر با ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. در هر سه مدل (دال معمولی، دال مجوف مکعبی، دال مجوف کروی) از شبکه میلگرد از نوع AIII به قطر ۱۲ میلی‌متر در دو راستا به فاصله ۱۵ سانتی‌متر در هر یک از چهار ستون از ۸ میلگرد از نوع AIII با قطر ۱۶ میلی‌متر در جهت طولی و خاموت‌های ۱۰ میلی‌متری در فواصل ۱۵ سانتی‌متری با پوشش ۴۰ میلی‌متر استفاده شده است. مدل‌سازی‌های انجام شده در نرم‌افزار آباکوس شامل مدل قاب خمشی با سقف دال معمولی (Model-01)، دال مجوف مکعبی (Model-02) و دال مجوف کروی (Model-03) به ترتیب در شکل-های (۴) تا (۶) نمایش داده شده است.

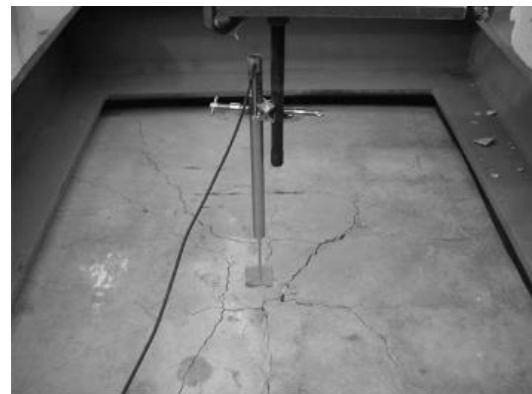
جدول ۱- مشخصات مصالح

f_u (Mpa)	f_y (Mpa)	E (Gpa)	f_t (Mpa)	f_c (Mpa)	
-	-	۳۰	۲/۹	۲۸	بتن
۶۰۰	۴۰۰	۲۰۰	-	-	فولاد

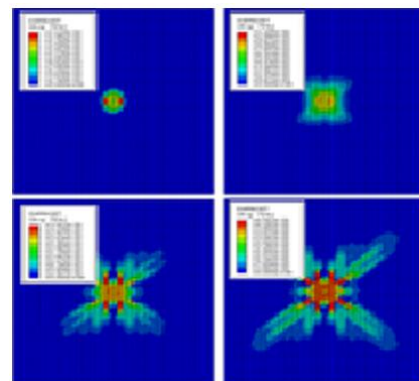


شکل ۱- بارگذاری دال بتن مسلح دو طرفه (Limam, ۲۰۰۵)

با استفاده از نرم‌افزار آباکوس مدل‌سازی دال بتن مسلح تحت بار استاتیکی قائم صورت پذیرفته است. در شکل (۲) نحوه گسترش ترک در مدل آزمایشگاهی و المان محدود مقایسه شده است. در شکل (۳) منحنی‌های بار- تغییر مکان در دال دو طرفه در دو حالت مدل‌های آزمایشگاهی (Limam, ۲۰۰۵) و المان محدود نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تطابق مناسبی بین منحنی‌های به‌دست آمده در مدل‌های المان محدود و آزمایشگاهی مشاهده می‌شود.



(الف)



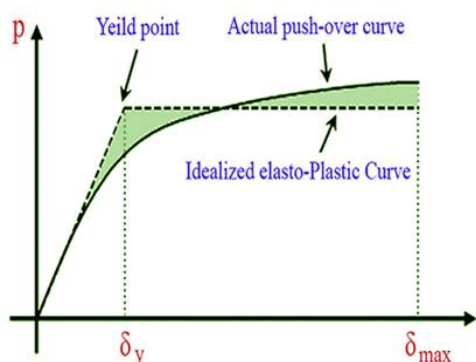
(ب)

شکل ۲- الف) مدل آزمایشگاهی (Limam, ۲۰۰۵)،

ب) مدل المان محدود

۵- تحلیل استاتیکی غیرخطی

هدف از تحلیل استاتیکی غیرخطی، برآورد رفتار مورد انتظار یک سیستم سازه‌ای به کمک تخمین مقاومت و تغییر شکل موردنیاز است. یکی از بهترین نتایج این تحلیل، تعیین نمودار بار-تغییر مکان می‌باشد. دلیل استفاده از این نوع آنالیز، سرعت بالای انجام آن، سادگی تفسیر نتایج و دقت قابل قبول آن می‌باشد. تحلیل مذکور به صورت اعمال جابه‌جایی و ثبت نیروی عکس‌العمل انجام می‌شود. تحلیل استاتیکی غیرخطی مذکور در نرم‌افزار المان محدود آباکوس انجام شده است. با انجام این تحلیل سعی شده است که ضریب رفتار ساختمان‌های بتنی با دال معمولی، دال مجوف کروی و مکعبی مقایسه شوند. برای محاسبه ضریب رفتار ساختمان بتنی ابتدا لازم است منحنی دو خطی ایده‌آل‌سازی شده سازه بر اساس منحنی غیرخطی و واقعی سازه، به دست آید. در شکل (۹) یک نمونه از منحنی بار-تغییر مکان نمایش داده شده است که بر اساس تئوری مساحت‌های برابر در بالا و پایین منحنی غیرخطی ایده‌آل‌سازی شده است.



شکل ۸- منحنی بار-تغییر مکان و ایده‌آل‌سازی شده سازه

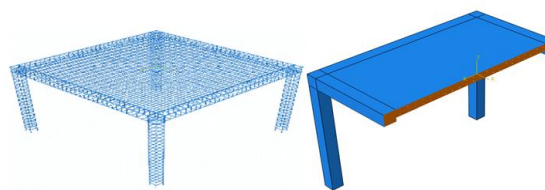
در نتیجه ایده‌آل‌سازی منحنی بار تغییر مکان، می‌توان با استفاده از رابطه (۲) ضریب رفتار سازه را محاسبه و ارزیابی نمود.

$$R = \frac{\delta_{max}}{S \times \delta_y} \quad (2)$$

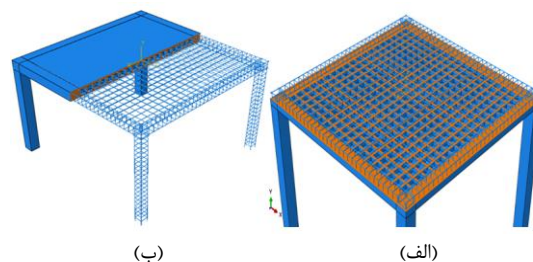
در این رابطه، R ضریب رفتار سازه، δ_{max} حداکثر جابه‌جایی، δ_y جابه‌جایی نظیر شروع تسلیم‌شدگی و S ضریب اضافه مقاومت می‌باشد. بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم ضریب اضافه مقاومت را می‌توان برابر با ۳ در نظر گرفت.

۶- بحث و بررسی نتایج

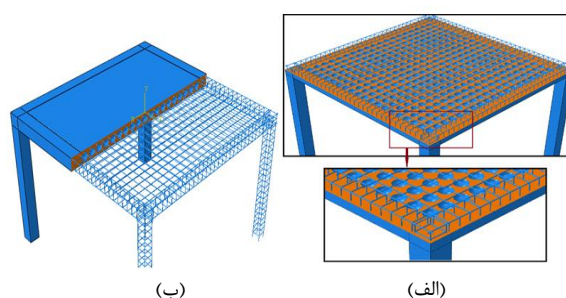
در شکل‌های (۹) تا (۱۱) تنش‌ها و تغییر شکل‌های ایجادشده در هریک از مدل‌سازی‌های انجام‌شده در انتهای بارگذاری نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، استفاده از دال



شکل ۴- Model-01: الف) برش عمودی مقطع،
ب) شبکه تسلیح



شکل ۵- Model-02: الف) برش عمودی مقطع،
ب) شبکه تسلیح



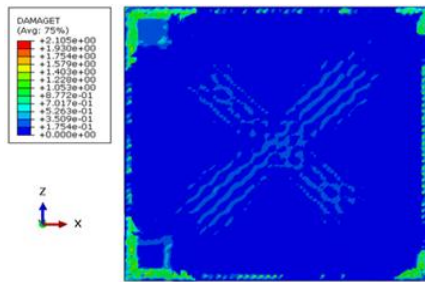
شکل ۶- Model-03: الف) برش عمودی مقطع،
ب) شبکه تسلیح

به‌منظور انجام تحلیل المان محدود مش‌بندی قطعات مدل با استفاده از شبکه‌بندی چهار گره‌ای در مصالح بتن و دو گره‌ای در المان‌های فولادی انجام شده است. در شکل (۷) شمای کلی مش‌بندی مدل نمایش داده شده است.

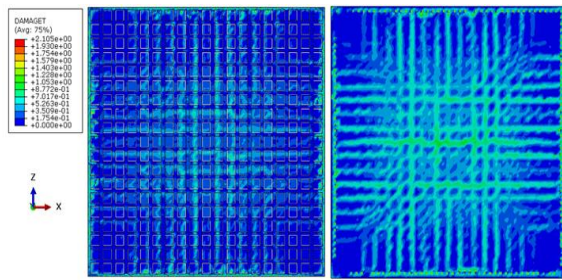


شکل ۷- شمای کلی مش‌بندی مدل

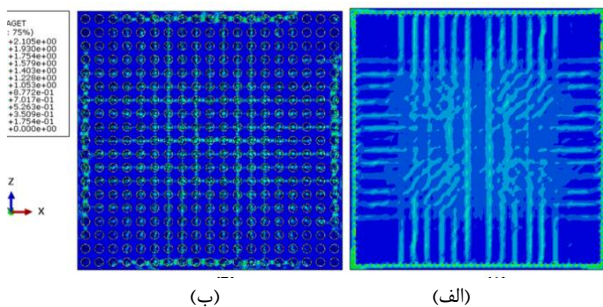
مجوف مکعبی است، مستعد بروز ترک خوردگی در نقاط گوشه و محل‌های تمرکز تنش می‌باشد. از طرفی استفاده از دال مجوف کروی موجب گردیده ضمن انعطاف‌پذیری و ترک مناسب، شمار المان‌های ترک‌خورده در نزدیکی اتصالات و گوشه‌های دال منطقی باشد.



شکل ۱۲- ترک‌های ایجادشده در دال مدل Model-01



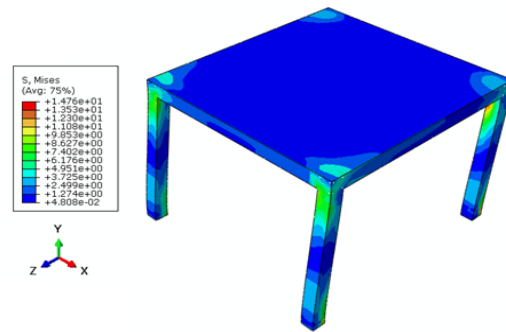
شکل ۱۳- ترک‌های ایجادشده در دال مدل Model-02: (الف) سطح دال، (ب) برش افقی دال



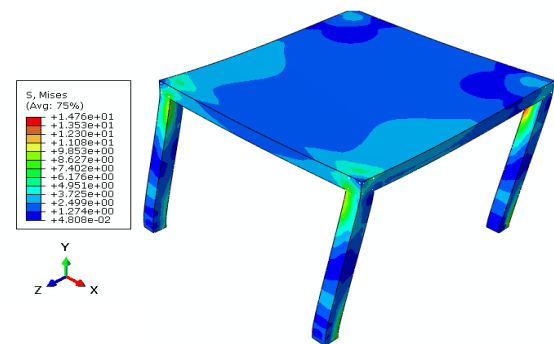
شکل ۱۴- ترک‌های ایجادشده در دال مدل Model-03: (الف) سطح دال، (ب) برش افقی دال

در شکل (۱۵) منحنی‌های بار- تغییر مکان مدل‌های مختلف نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تأثیر نوع دال سقف در هر دو حالت تأثیر نسبتاً کمی بر سختی اولیه دارد که می‌تواند به دلیل عملکرد ستون‌ها در ابتدای تحلیل باشد، اما مقاومت نهایی ساختمان با دال مجوف مکعبی و کروی نسبت به دال معمولی به ترتیب به میزان ۱۳/۸ درصد و ۱۷ درصد کاهش یافته است. این در حالی است که انعطاف‌پذیری ساختمان در دو حالت دال مجوف افزایش داشته است.

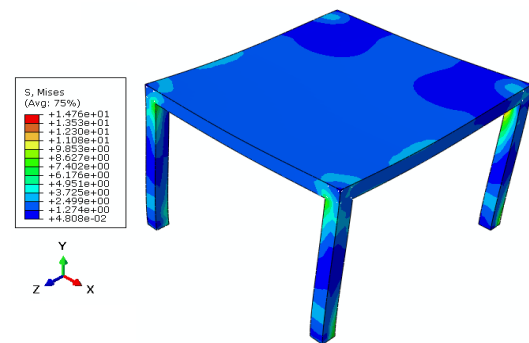
معمولی همراه با سختی قابل‌توجهی در دال همراه بوده است. تنش‌های حداکثر غالباً در ستون‌های سازه اتفاق افتاده است. استفاده از دال مجوف مکعبی و مجوف کروی موجب توزیع تنش در کل ساختمان شده و دال انعطاف بیشتری از خود نشان داده است.



شکل ۹- تنش و جابه‌جایی در مدل Model-01 (دال معمولی)

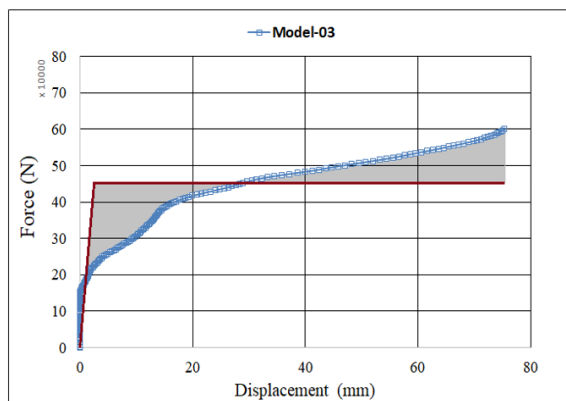


شکل ۱۰- تنش و جابه‌جایی در مدل Model-02 (دال مجوف مکعبی)



شکل ۱۱- تنش و جابه‌جایی در مدل Model-03 (دال مجوف کروی)

در شکل‌های (۱۲) تا (۱۴) ترک‌های کششی ایجاد شده در مدل‌های مختلف نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، کم‌ترین ترک کششی مربوط به مدل شماره یک می‌باشد که دال معمولی توپر استفاده شده است. دال مجوف مکعبی بیشترین ترک‌ها را داشته است که با توجه به هندسه مدل دال که



شکل ۱۸- منحنی ایده آل قاب خمشی مدل Model-03

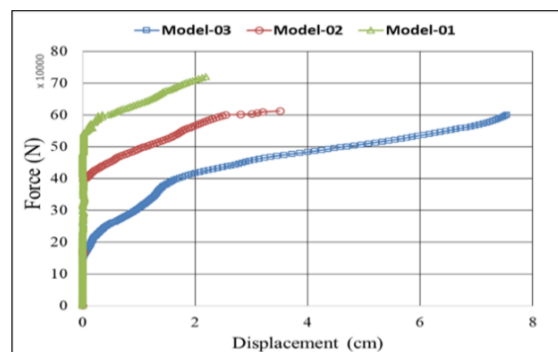
جدول ۲- میزان تغییرات ضریب رفتار مدل های مختلف

Model	δy (cm)	δmax (cm)	R	%
Model-01	۰/۱۵	۲/۲	۴/۸۸	-
Model-02	۰/۱۸	۳/۵	۶/۴۸	۳۲/۷۹
Model-03	۰/۳۵	۷/۷	۷/۱۴	۴۶/۳

ضریب رفتار قاب با دال معمولی و توپر برابر ۴/۸۸ به دست آمده است. این در حالی است که ضریب رفتار در ساختمان با دال مجوف مکعبی با ۳۲/۷۹ درصد افزایش به ۶/۴۸ رسیده است و ضریب رفتار ساختمان با دال مجوف کروی با ۴۶/۳ درصد افزایش به ۷/۱۴ رسیده است.

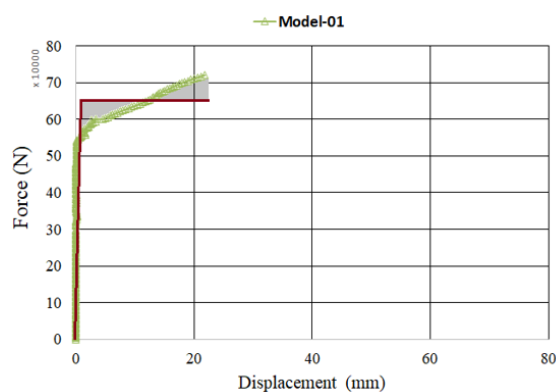
۷- نتیجه گیری

در این مقاله با معرفی ساختمان بتنی در قالب سه مدل با دال معمولی، دال مجوف مکعبی و دال مجوف کروی به بررسی تأثیر استفاده از دال های مجوف در پارامترهای عملکردی ساختمان بتنی پرداخته شده است. در این مطالعه پس ارائه نحوه مدل سازی مصالح و مشخصات آن، اعتبارسنجی نتایج در قالب صحت سنجی مدل رفتاری دال بتن مسلح پرداخته شد. با انتخاب مدل ساختمان بتنی با ابعاد مناسب و با در نظر گرفتن سه حالت دال، تحلیل استاتیکی غیرخطی به صورت اعمال جابه جایی جانبی در نرم افزار تحلیل المان محدود آباکوس صورت گرفت. پارامترهایی نظیر تغییر شکل، تنش، خرابی المان های بتنی و منحنی بار تغییر مکان به منظور ارزیابی عملکرد هر یک از مدل ها مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت ضریب رفتار ساختمان بتنی یک طبقه و یک دهانه مورد مطالعه در شرایط مختلف دال معمولی و مجوف مقایسه شد. نتایج نشان می دهد، استفاده از دال معمولی با مقطع توپر هر چند ترک کمتری را در برابر بارهای وارده از خود نشان داده است، سختی زیادی داشته و ضریب رفتار کوچک تری نسبت به مدل های مجوف برای آن به دست می آید. استفاده از دال مجوف مکعبی هر

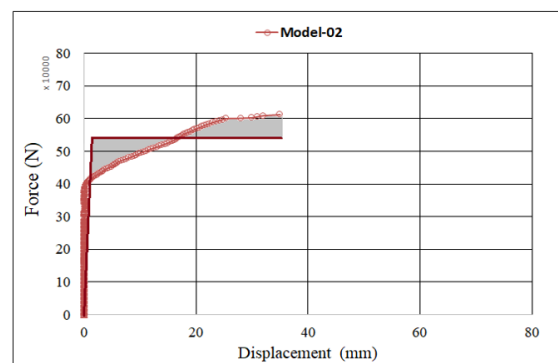


شکل ۱۵- منحنی پوش آور مدل های مختلف

به منظور محاسبه و ارزیابی ضریب رفتار ساختمان در شرایط مختلف، منحنی های بار- تغییر مکان ایده آل سازی شده برای مدل های مختلف در شکل های (۱۶) تا (۱۸) ترسیم شده است. منحنی دو خطی ایده آل با فرض برابر بودن مساحت زیر منحنی و بالای منحنی های بار- تغییر مکان و ایده آل و ثابت بودن سختی اولیه ترسیم شده است. پس از ایده آل سازی منحنی های بار- تغییر مکان، پارامترهای مورد استفاده در رابطه (۲) مشخص شده و ضریب رفتار در سه مدل ساختمانی با دال معمولی، دال مجوف مکعبی و دایره ای در جدول (۲) ارائه شده است.



شکل ۱۶- منحنی ایده آل قاب خمشی مدل Model-01



شکل ۱۷- منحنی ایده آل قاب خمشی مدل Model-02

- hollow core slabs", Journal of King Saud University-Engineering Sciences, 2020, 32 (8), 501-509.
- Nielsen ML, "Analysis and Concrete Plasticity", Second Edition, CRC Press, 1998.
- Schenellenbach-Held M, Peffefer K, "Bubble deck new ways in concrete building, design of Biaxial Hollow Slabs", Annual Journal on Concrete and Concrete Structures, Technische Universität Darmstadt, 1999, Volume 14.
- Schenellenbach-Held M, Peffefer K, "Punching behavior of biaxial hollow slab", Cement and Concrete Composites, 2002, 24, 551-556.
- Scott Norman L, "Performance of Precast Prestressed Hollow Core Slab with Composite Concrete Topping", PCI Journal, 1973, (2), 64-77.
- Shima H, Chou L, Okamura H, "Micro and Macro Models for Bond in Reinforced Concrete", Journal of the Faculty of Engineering, 1987, 39 (2), 133-194.
- Ueda T, Stitmann A, "Shear-strength of precast prestressed hollow core slabs with concrete topping", ACI Structural Journal, 1991, 88 (4), 402-410.
- Valivonis J, Skuturna T, Daugevičius M, Šneideris A, "Punching shear strength of reinforced concrete slabs with plastic void formers", Construction and Building Materials, 2017, 145, 518-527.
- Yik A, Min Y, Hua LJ, "Experimental Study on Voided Slab Subjected to Flexural Load", Borneo Journal of Sciences and Technology, 2020, 2 (1), 27-31.

چند ضریب رفتار را افزایش داده است اما گسترش ترک‌های کششی ایجاد شده ناشی از تمرکز تنش در کنج مقاطع توخالی پدیده مطلوبی محسوب نمی‌شود. در شرایط استفاده از دال بتنی مجوف با قالب‌های کروی علاوه بر مشاهده انعطاف‌پذیری مناسب، ترک‌های ایجاد شده به صورت یکنواخت و قابل قبول توسعه یافته و با ضریب رفتار مناسب و کاهش وزن مناسب دال مدلی مناسب برای استفاده در سقف ساختمان محسوب می‌شود. هرچند اظهار نظر در خصوص رفتار دال‌های بتنی مجوف در سازه‌های با ابعاد واقعی و درجه نامعینی بیشتر در حین زلزله‌های بزرگ، نیاز به مطالعات بیشتر در این حوزه دارد.

۸- مراجع

- ذهب‌زاده ه، طاهری‌زاده م، "اثر بخشی سیستم کوبیاکس در سبک‌سازی سقف"، اولین همایش ملی عمران، معماری و توسعه پایدار، دانشگاه پیام نور یزد، ۱۳۹۳.
- ABAQUS v.6.10., "Standard User's Manual", Hibbit, Karlsson and Sorensen Incorporation, 2010.
- ACI 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05), ACI Committee 318, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005.
- Al-Gasham TS, Mhalhal JM, Jabir HA, "Improving punching behavior of interior voided slab-column connections using steel sheets", Engineering Structures, 2019, 199, 109614.
- Amerm MI, Nazar KA, Wissam DS, "Flexural Capacities of Reinforced Concrete Two-way Bubble Deck Slabs of Plastic Spherical Voids", Diyala Journal of Engineering Sciences, 2013, 6 (2), 9-20.
- Chung JH, Choi HK, Lee SC, Choi CS, "One-way shear strength of circular voided reinforced concrete floor slabs", Structures and Buildings, 2015, 168, (5), 336-350.
- DIN 1045-1 Plain, reinforced and prestressed concrete structures-part 1: design and construction, 2001.
- Dowell RK, Smith JW, "Structural Tests of Precast, Prestressed Concrete Deck Panels for California Freeway Bridges", PCI Journal, 2006, 51 (2), 76-87.
- Gudmand-Hoyer T, "Note on the Moment Capacity in a Bubble Deck Joint", Rapport BYG- Denmark Tekniske Universitet, R074, 2003.
- Khouzani-Amoushahi M, Zeynalian M, Hashemi M, Mostofinejad D, Farahbod F, "Study on shear behavior and capacity of biaxial ellipsoidal voided slabs", Structures, 2020, 27, 1075-1085.
- Lai T, "Structural Behavior of Bubble Deck Slabs and Their Application to Light Weight Bridge Decks", Master of Engineering in Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2009.
- Limam O, Nguyen VT, Foret G, "Numerical and Experimental Analysis of two-way Slabs Strengthened with CFRP Strips", Engineering Structures, 2005, 27 (6), 841-845.
- Musmar MA, "A case study on fire damage assessment of a two-story building with precast pretensioned

EXTENDED ABSTRACT

Investigation of the Behavior Factor of Concrete Moment Frame with Concrete Voided Slab Constructed By Spherical and Cubic Balls

Peyman Amiri, Seyed Ali Seyed Razzaghi *

Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

Received: 27 September 2019; Accepted: 21 April 2021

Keywords:

Behavior coefficient, Ductility, Spherical hollow slab, Cubic hollow slab, Concrete moment frame.

1. Introduction

In order to prevent damage caused by earthquakes in different types of structures including concrete structures, various methods are used by structural engineers considering terms of design and working conditions. This research aimed to evaluate the performance of these structures in different conditions and evaluate their impact on the structural behavior coefficient. For this purpose, ABAQUS finite element software has been utilized to model a concrete moment frame with one span in one floor equipped with simple concrete slab, spherical and cubic hollow slabs in different conditions.

2. Methodology

2.1. Validation study

The double-sided reinforced concrete slab used by Lmiam et al. (2003) with 7cm thickness, 130cm width and 170cm length is also considered as the main model. Steel wire mesh reinforcement grid with a spacing of 20 cm in diameter 6 mm and 17 mm concrete cover has been selected for modeling in Abacus software. The average 28-day compressive strength of concrete is 30 MPa with a modulus of elasticity of 25 GPa. The reinforcement strength of the steel is about 540 MPa with a modulus of elasticity of 200 GPa. Reinforced concrete slab with all four sides mounted on a simple stand and centered at the center of the slab as shown in Fig. 1.

2.2. FE modeling

The lateral behavior of one-storey bending frame structure under three different conditions of slab arrow, spherical and cubic slab is evaluated and compared with modeling and analysis in ABAQUS software. The present project was carried out at a site with moderate seismic hazard (ground acceleration ratio of 0.25) and type III soil type with residential use whose significance according to Group 3 is 2800 equal to 1 in the regulations. The slab has a length and width of 2 meters and a beam and column of 2 cm to 2 cm. The concrete cover is 20 mm, the average ultimate compressive strength of 28 MPa with a modulus of elasticity of 30 GPa. The reinforcing steel resistance around 400 MPa with a modulus of elasticity of 200 GPa have been selected for modeling in Abacus software. The slab thickness is 30 cm. In all three models (slab arrow, cubic hollow slab, and spherical hollow slab) of 12 mm AIII rebar grid in two directions with 15 cm spacing in each of four columns of 8 mm AIII rebar with 16 mm diameter Longitudinal and 10 mm bumps were used at 15 cm intervals.

* Corresponding Author

E-mail addresses: arazzaghi@pnu.ac.ir (Seyed Ali Seyed Razaghi), amiri.p.49@gmail.com (Peyman Amiri).

3. Results and discussion

The use of ordinary slab has been associated with considerable stiffness in floor. Maximum stresses often occur in columns. The use of cubic hollow and spherical voided slabs has caused the distribution of stress throughout the building and the slab has shown more flexibility.

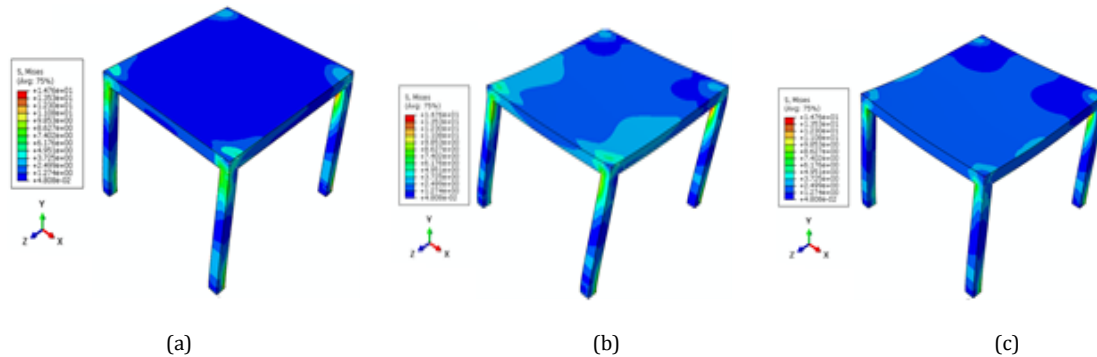


Fig. 1. stress contours and displacement shape under lateral load: a) Frame with ordinary slab (Model-01), b) Frame with cubic voided slab (Model-02), c) Frame with spherical voided slab (Model-03)

Load-Deflection curves and also Ideal curves are plotted to calculate and evaluate the behavior factor. The ideal curves are obtained, assuming the equal positive and negative area between ideal and real load-deflection curves. The results show that the behavior factor of the moment frame with spherical voided slab (Model-03) and with cubic voided slab (Model-02) are 46.3% and 32.79% greater in comparison with the moment frame with ordinary slab. Assessment results of behavior factor are represented in Table 1.

Table 1. Behavior factor in different models

Model	δ_y (cm)	δ_{max} (cm)	R	Increase rate (%)
Model-01	0.15	2.2	4.88	-
Model-02	0.18	3.5	6.48	32.79
Model-03	0.35	7.7	7.14	46.3

4. Conclusions

The use of an ordinary slab with a solid cross-section, although it has shown fewer cracks against the applied lateral loads, but it shows much more stiffness and has a lower behavior factor in comparison with voided slab models. Also, the use of cubic voided slab has increased the behavior factor but the expansion of tensile cracks created by the concentration of stress in the corner of the hollow sections is not a desirable phenomenon. In the conditions of using spherical voided slabs, in addition to observing suitable flexibility, the cracks are propagated uniformly and in acceptably forms. Appropriate behavior factor and weight reduction are observed in moment frame with spherical voided slab. However, concluding on the seismic behavior of hollow concrete slabs in structures with real dimensions and a higher degree redundancy during large earthquakes requires further studies in this area.

5. References

ABAQUS v.6.10., "Standard User's Manual", Hibbit, Karlsson & Sorensen Incorporation, 2010.
 Limam O, Nguyen VT, Foret G, "Numerical and Experimental Analysis of two-way Slabs Strengthened with CFRP Strips", Engineering Structures, 2005, 27 (6), 841-845.