نشریه علمی تخصصی شباک
سال پنجم، شماره ۴۷، آبان ۱۳۹۸
ISSN: 2476-3667

مطالعه پارامتری تأثیر بازشوها بر سختی درون صفحه دال‌های دوطرفه مجوف (یوبوت)

سید علیرضا کازرونیان[1]*، جعفر گشمردی[2]

چکـیده

با پیشرفت تکنولوژی در صنعت ساختمان و همچنین لزوم سبک‌سازی، استفاده از دال‌های مجوف یوبوت برای پوشش سقف مفید می‌باشد. در دال‌های مجوف یوبوت با استفاده از قالب‌های پلی‌پروپیلن که در قشر میانی دال قرار گرفته ضمن حفظ باربری دال بتن، ناحیه ناکارآمد حذف و از وزن دال به طور چشمگیری کاسته می‌شود که این موضوع باعث کاهش نیروی وارد به ساختمان در زمان وقوع زلزله خواهد شد. با توجه به استفاده از این نوع سقف بر اساس مزیت یاد شده و همچنین وجود اجتناب‌ناپذیر بازشوها در آن، یک مطالعه با هدف بررسی اثر پارامترهایی مانند ابعاد و موقعیت بازشوها بر روی سختی درون صفحه دال یوبوت ضروری می‌باشد. در این تحقیق مدل‌های دال یوبوت با بازشوهای مختلف توسط نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس مورد تحلیل قرار می‌گیرند. جهت بررسی سختی درون صفحه دیافراگم سقف، نسبت حداکثر تغییر شکل افقی ایجاد شده در دال به تغییر مکان نسبی متوسط طبقه محاسبه و به صورت نمودارهایی براساس پارامترها ارائه می‌گردند. نتایج نشان می‌دهد که محل مناسب بازشوهای سقف جهت ایجاد صلبیت بیشتر دیافراگم در بخش میانی دال می‌باشد. همچنین با افزایش سطح بازشو در دال یوبوت، سختی درون صفحه کمتر شده و عملکرد آن مانند دیافراگم انعطاف پذیر می‌شود.

واژگـان کلـیدی: دال یوبوت، بازشو، دیافراگم، سختی درون صفحه، آباکوس.

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران (مسئول مکاتبات)
alirezakazerounian@yahoo.com
۲- کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، بوشهر، ایران

www.SID.ir

۱- مقدمه

ایده کاهش وزن ساختمان‌ها و اجرای سازه‌های سبک در تاریخ مهندسی سازه همواره مورد توجه متخصصان، پژوهشگران و محققان در سراسر جهان بوده و اثرات اثبات شده آن در بهبود رفتار و کاهش نیروهای وارد بر سازه، محققان را به ایجاد طرح‌های نوین ترغیب نموده است. امروزه نیاز به مصالح ایمن، سبک، کارا و مقاوم بیش از گذشته احساس می‌شود. در این میان سقف‌ها اولین قسمت از سازه باربر ساختمان‌ها بوده که بارهای مرده و زنده روی آن قرار می‌گیرند و به دلیل اختصاص نیروی زلزله به دیافراگم سقف، توانایی تحمل و انتقال بار آنها در سازه‌ها بسیار مهم تلقی می‌گردد. یکی از سیستم‌های نوین سازه‌ای که در سال‌های اخیر به نحو فزاینده‌ای مورد توجه مهندسین و دست‌اندرکاران ساخت و ساز قرار گرفته سقف‌های دال مجوف می‌باشد. یکی از انواع سقف‌های دال مجوف، دال دوطرفه مجوف یوبوت بوده که این نوع سقف علاوه بر آنکه وزن ساختمان را کاهش می‌دهد، تعداد ستون‌ها را نیز بطور قابل ملاحظه‌ای کم خواهد نمود. از دیگر مزایای استفاده از این نوع سقف می‌توان به افزایش طول دهانه‌ها، کاهش تغییرشکل‌ها و همچنین اجرای سریع آن اشاره کرد. قسمت‌های مختلف تشکیل‌دهنده سقف دال مجوف یوبوت شامل دال بتنی کف، بلوک پروپیلن، میلگرد آجدار و دال بتنی رویه می‌باشند.

تحقیقات زیادی در زمینه رفتار و عملکرد دال های بتنی مجوف صورت گرفته است. چانگ و همکاران در پژوهشی به بررسی ظرفیت‌های برشی دال دوطرفه توخالی با کره توخالی نوع دوناتی پرداختند (چانگ و همکاران، ۲۰۱۱: ۲۲۱۹-۲۲۲۲). طبق مطالعات انجام گرفته، دال توخالی دارای مقاومت برشی اندک در مقایسه با دال توپر و همچنین ظرفیت‌های برشی دال دوطرفه توخالی تحت تاثیر اشکال و مواد کره‌های توخالی می‌باشند. همچنین چانگ و همکاران در پژوهشی دیگر ظرفیت‌های برش پانچ دال دوطرفه توخالی با کره توخالی نوع دوناتی را ارائه دادند (چانگ و همکاران، ۲۰۱۱: ۷۷۷-۷۸۰). در این مطالعه، نوع ویژه‌ای از شبکه (قفس) جهت بهبود ظرفیت‌های برشی پانچ و تثبیت کره‌های توخالی در مقطع بحرانی استفاده شد. از آن تحقیق نتیجه‌گیری شد که ظرفیت‌های برشی پانچ دال‌های توخالی با کره توخالی نوع دونات و فیکسر قطری، بیش از ۸۷٪ دال‌های توپر می‌باشد. کیم و همکاران به بررسی ظرفیت‌های خمشی دال توخالی یک‌طرفه با کره توخالی نوع دوناتی پرداختند (کیم و همکاران، ۲۰۱۱: ۷۷۳-۷۷۶). دال توخالی نوع دوناتی دارای ظرفیت‌های خمشی خوب همانند مقاومت، سختی و خیز بوده و نتیجه‌گیری شد که ظرفیت‌های خمشی دال‌های توخالی که به فرم کره توخالی نوع دوناتی بودند، دارای مقدار مشابه یا بزرگتر از دال‌های توپر می باشند. همچنین مقاومت بالاتر مواد کره توخالی به صورتی قابل توجه، مقاومت خمشی دال کره را افزایش داده و انواع کره توخالی تثبیت کننده، مقاومت خمشی دال توخالی را تحت تاثیر قرار دادند. در مطالعه تحلیلی انجام شده توسط چانگ و همکاران تحت عنوان تاثیر اشکال توخالی بر دال‌های توخالی دوطرفه و به منظور به دست آوردن اشکال توخالی بهینه، شبیه‌سازی‌های عددی با استفاده از روش‌های المان محدود توسط نرم‌افزار المان‌محدود غیرخطی LUSAS انجام گردید (چانگ و همکاران، ۲۰۱۰). بر اساس نتایج بدست آمده، ظرفیت دال‌های توخالی دومحوره تحت تاثیر شکل و حجم کره‌های توخالی قرار گرفت و در نتیجه، سه پارامتر همچون اشکال معمولی، شعاع گوشه و قطر سوراخ به دست آمد. این پارامترها بر مقاومت و سختی تاثیر گذاشته و شعاع گوشه کوچکتر موجب ایجاد ترک‌های متمرکزتر می‌شوند. همچنین با افزایش اندازه قطر سوراخ، از ایجاد ترک‌های برشی جلوگیری شد. رضایی و فرزام به بررسی رفتار برشی- خمشی دال‌های مجوف با سیستم یوبوت پرداختند (رضایی و فرزام، ۱۳۹۵). در تحقیق ارائه شده پارامترهای مهم و تأثیرگذار با استفاده از تحلیل عددی نرم‌افزار Atena مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از تحلیل‌های عددی نشان داد که وجود قالب‌های پلاستیکی در ناحیه بحرانی پانچ، باعث کاهش ۲۰ درصدی ظرفیت بار جانبی در قیاس با دال توپر مشابه می‌شود. همچنین تنها با برداشتن ۴ قالب یوبوت اطراف ستون، ظرفیت تحمل بار جانبی به ۹۵ درصد دال توپر می‌رسد. عبادی و محمدی مطالعاتی در خصوص بررسی کفایت دال های تخت بتنی مجوف مکعبی (یوبوت) در برش یک طرفه و دو طرفه انجام داده‌اند (عبادی و محمدی، ۱۳۹۵). هوشیار و همکاران به بررسی اثر بازشوهای با اشکال و ابعاد مختلف بر تنش دال بتنی دوطرفه پرداختند (هوشیار و همکاران، ۱۳۹۵). در این تحقیق جهت تعمیم دادن اثر بازشو (شکل و ابعاد بازشو) بازشوهایی با اشکال و ابعاد مختلف، با استفاده از المان محدود و نرم‌افزار Matlab تحلیل شدند. تحلیل‌ها نشان داد 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 بازشوهای 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 آنست که با افزایش ابعاد بازشو، میزان تنش موجود در دال افزایش می‌یابد.

برای تعیین صلبیت یا انعطاف پذیری دیافراگم سقف و لحاظ آن در تحلیل سازه ساختمانی نیاز به بررسی و ارزیابی تاثیر وجود باشوها بر سختی درون صفحه دیافراگم سقف می باشد. با توجه به کاربرد روزافزون دال بتنی یوبوت در سنوات اخیر، پژوهش‌های صورت گرفته ناچیز قبلی بر روی تاثیر مشخصه‌های مختلف این نوع سقف از جمله بازشو و رفتار آن و با توجه به عدم وجود دستورالعمل‌های کافی در استانداردها و آئین‌نامه‌ها لازم است با انجام تحقیقات گسترده، مطالعات عددی و ایجاد مدل‌های نرم‌افزاری مناسب، زمینه را برای شناخت بهتر و و دست‌یابی به پیشنهادهایی برای بهبود عملکرد آنها فراهم گردد. در این تحقیق

www.SID.ir

تاثیر ابعاد و محل قرار گیری بازشوها بر سختی درون صفحه سقف یوبوت مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج حاصل می‌تواند در تکمیل و بازنگری نتایج پژوهش‌های قبلی مورد استفاده قرار گیرد.

۲- روش تحقیق

در این مطالعه سختی درون صفحه سقف یوبوت تحت اثر ابعاد و محل بازشوهای مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. به منظور بررسی اثر بازشوها در این نوع سقف‌ها، پس از ارائه طرح اولیه منطبق بر تئوری طراحی سقف مطالعات عددی و تحلیلی بر روی چند مدل دارای بازشو با سطح و موقعیت‌های مختلف به صورت سه‌بعدی و با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس انجام می‌گیرد. نتایج عددی برحسب پارامترهای مورد نظر به صورت نمودارهایی ارائه گردیده و پس از مقایسه تغییرمکان‌های ایجاد شده، نتایج حاصله بررسی و ارزیابی می‌شوند.

۲-۱- مدلسازی مصالح

در نرم افزار اجزای محدود آباکوس جهت مدلسازی مصالح بتن از المان کانتینیوم به نام C3D10M که یک المان ۳ بعدی ۱۰ گرهی (مرتبه دوم) با روش انتگرال‌گیری کامل بوده استفاده شده که در آن هر گره دارای ۳ درجه آزادی انتقالی می‌باشد. میلگردها با استفاده از المان T3D2 که یک المان خرپایی یک بعدی دو گرهی (مرتبه اول) بوده مدل می‌شوند و این المان‌ها تنها دارای درجات آزادی انتقالی در امتداد محور عضو هستند (بصورت کششی یا فشاری) و هیچگونه مقاومتی در برابر خمش ندارند. لازم به ذکر است که آرماتورها بصورت دو خطی همراه با سخت‌شوندگی مدل شده‌اند.

۲-۱-۱- مدل رفتاری بتن

در این تحقیق، مشخصات مکانیکی مصالح بتنی در نظر گرفته شده در فاز الاستیک بشرح جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱: مشخصات مکانیکی بتن

جرم مخصوص (کیلوگرم بر مترمکعب)	نسبت پواسن	مدول الاستیسیته (گیگاپاسکال)
۲۴۰۰	۰/۲	۲۵

۲-۱-۲- مدل رفتاری فولاد

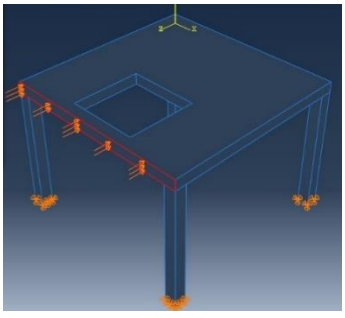
در این مطالعه، مشخصات مصالح مربوط به آرماتورهای طولی موجود و مدفون در دال در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

جدول ۲: مشخصات مصالح فولادی

جرم مخصوص (کیلوگرم بر مترمکعب)	نسبت پواسن	مدول الاستیسیته (گیگاپاسکال)	تنش تسلیم (مگاپاسکال)
۷۸۵۰	۰/۳	۲۰۰	۵۳۵

۲-۲- قیدهای تکیه گاهی

در این تحقیق مدل‌ها علاوه بر بار گرانشی ناشی از وزن دال، مطابق شکل ۱ تحت تاثیر بار جانبی واحد بوده و بر روی ستون بتنی قرار گرفته و پایه ستون‌های بتنی به صورت گیردار در نظر گرفته شده‌اند.



شکل ۱- بار جانبی وارد بر دال با بازشو

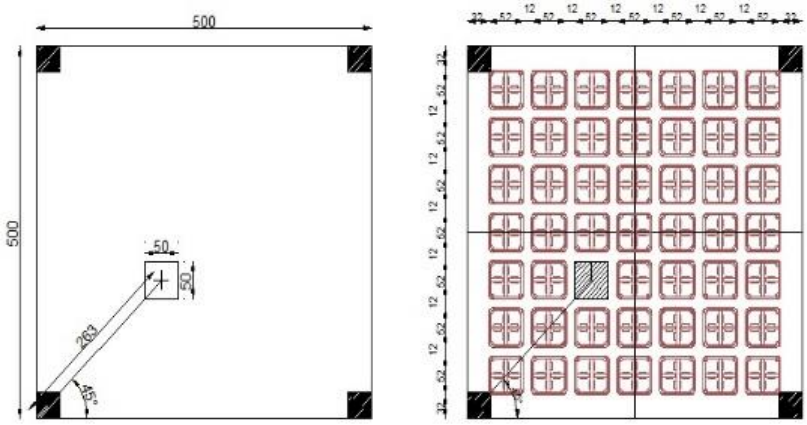
۲-۳- نامگذاری

پارامترهای در نظر گرفته در این پژوهش α، نسبت سطح بازشو به دال و R، فاصله مرکز سطح بازشو تا مبدأ مختصات دال سقف بر حسب سانتی‌متر می‌باشند. مقادیر مفروض برای α شامل ۰/۰۱، ۰/۰۵۳، ۰/۱۳ و ۰/۲۳ می‌باشند.

با توجه به تعداد زیاد تحلیل‌ها، نیاز به ایجاد یک قانون نامگذاری جهت طبقه بندی محاسبات و پردازش داده‌ها می‌باشد. در این مطالعه با توجه به پارامترهای مفروض، نمونه‌ها به صورت $A_\alpha C_{R,\theta}$ اسم‌گذاری می‌شوند، که در آن α و

www.SID.ir

R طبق تعاریف در بالا و θ زاویه بین R و محور X پلان سقف بر حسب درجه است. به طور نمونه، مدل $A_{0.01}C_{263,45}$ در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- ابعاد مدل $A_{0.01}C_{263,45}$ بر حسب سانتی‌متر

تعداد مدل‌های مفروض در این مطالعه بر حسب مقادیر α در جدول ۳ مشخص شده است.

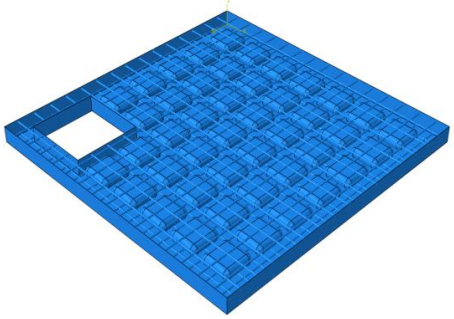
جدول ۳- تعداد مدل‌ها

α	۰/۰۱	۰/۰۵۳	۰/۱۳	۰/۲۳
تعداد مدل ها	۱۶	۹	۹	۴

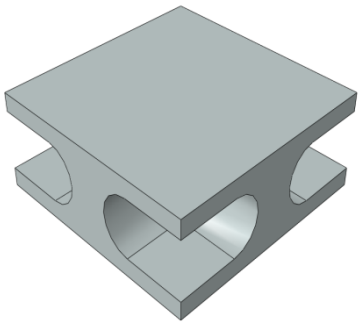
بنابراین در این تحقیق از ۳۸ مدل دارای بازشو و یک مدل بدون بازشو جهت تحلیل با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس استفاده شده است.

۲-۴- مدل‌های مورد مطالعه

از دال یوبوت بتن‌آرمه به ابعاد ۵×۵ مترمربع و به ضخامت ۲۶ سانتیمتر استفاده شده است. برای بررسی اثر ابعاد بازشو از بازشوهایی با ابعاد ۵۰×۵۰، ۱۱۶×۱۱۶، ۱۸۰×۱۸۰ و ۲۴۰×۲۴۰ سانتی متر استفاده می‌شود. جهت بررسی موقعیت بازشو از قرارگیری بازشو نسبت به کنج ستون گوشه (مبدا مختصات) در زوایای مختلف کمک گرفته شد. به طور نمونه یکی از مدل‌های مورد مطالعه و بخش میانی دال بتنی یوبوت که در نرم افزار اجزای محدود آباکوس شبیه سازی شده به ترتیب در اشکال ۳ و ۴ نشان داده شده‌اند.



شکل ۳- مدل‌سازی اجزای محدود دال بتنی یوبوت



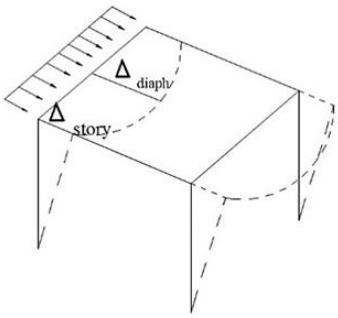
شکل ۴- مدل‌سازی اجزای محدود بخش های میانی دال بتنی یوبوت در Part آباکوس

۲-۵- بررسی سختی درون صفحه دال‌ها

پس از مدل‌سازی قاب، همانطور که در شکل ۵ مشخص است بار جانبی ثابتی به مدل‌ها وارد و بعد از آنالیز جابجایی نقاط بدست می‌آید. جهت ارزیابی سختی درون صفحه دیافراگم سقف، حداکثر تغییر شکل افقی ایجاد شده در دال Δ_{diaph} تحت اثر نیروی جانبی نسبت به تغییر مکان نسبی متوسط طبقه Δ_{story} محاسبه می‌گردد.

www.SID.ir

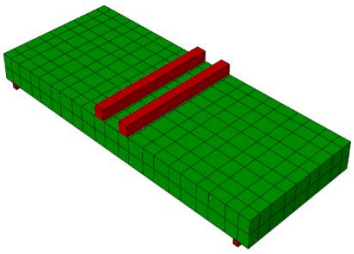
هرچقدر که نسبت $\frac{\Delta_{diaph}}{\Delta_{story}}$ بیشتر باشد سختی درون صفحه (صلبیت جانبی) دال کمتر بوده و در واقع دال انعطاف‌پذیرتر می باشد. طبق استاندارد، دیافراگم‌های سقف با مقادیر $\frac{\Delta_{diaph}}{\Delta_{story}}>2$ به عنوان انعطاف-پذیر (نرم) و با مقادیر $\frac{\Delta_{diaph}}{\Delta_{story}}<0,2$ به عنوان صلب طبقه‌بندی می‌شوند (استاندارد ۲۸۰۰، ۱۳۹۳).



شکل ۵- حداکثر تغییر شکل ایجاد شده در دال و تغییر مکان نسبی متوسط طبقه

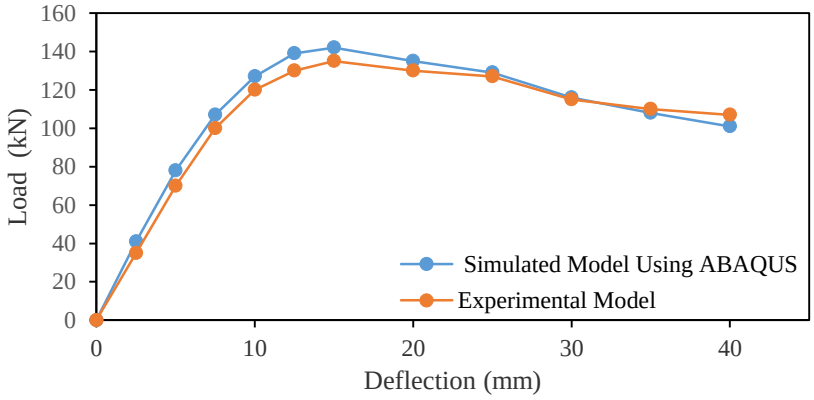
۳- صحت‌سنجی مدل المان محدود

به منظور صحت‌سنجی نتایج مدل‌های تحلیلی در نرم‌افزار آباکوس، نمونه دال بتنی مجوف که توسط چانگ و همکاران (۲۰۱۰) مورد آزمایش قرار گرفته بود با در نظر گرفتن کلیه ابعاد و پارامترهای موجود، در نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس شبیه‌سازی شده و نتایج حاصل از تحلیل با نتایج آزمایشگاهی مقایسه می‌شوند. جهت مسلح کردن دال بتنی در نمونه آزمایشگاهی از دو ردیف میلگرد به صورت شبکه‌ای در بالا و پایین دال استفاده شده که توسط فاصله‌دهنده‌ها از قالب‌های یوبوت ثابت شده‌اند. مدل اجزای محدود شبیه سازی شده دال بتنی آزمایشگاهی تحت بار متمرکز خطی به همراه شرایط مرزی در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- مدل‌سازی اجزای محدود نمونه آزمایشگاهی دال بتنی

نمودار نیرو-جابجایی مربوط به تحلیل مدل عددی و نتایج آزمایشگاهی دال بتنی مجوف در شکل ۷ نشان داده شده است.



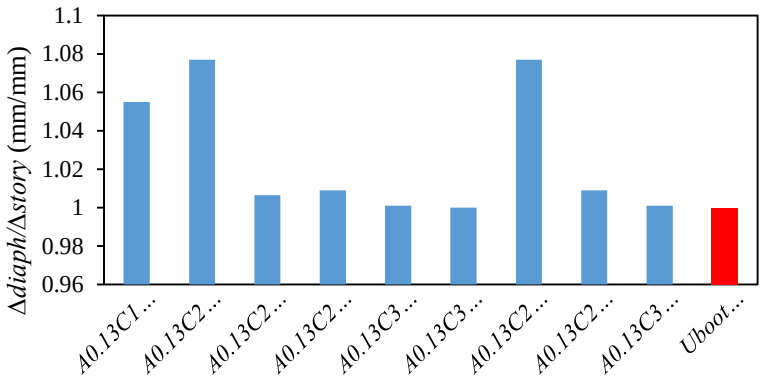
شکل ۷- نمودار بار-جابجایی دال بتنی مجوف

همانطور که از مقایسه منحنی‌ها مشخص می‌باشد، نتایج حاصل از نمودار بار ـ تغییر مکان مدل آزمایشگاهی و عددی بیش از ۸۵ درصد با یکدیگر تطابق داشته و بنابراین صحت مدل‌سازی در نرم‌افزار را تایید می‌کنند. لازم به یادآوری است که تفاوت اندک میان نمودار بار ـ تغییرمکان نمونه آزمایشگاهی در مقایسه با نمونه مدل‌سازی شده در نرم‌افزار اجزای محدود به دلیل لغزش میلگرد در بتن و وجود ترک‌های موجود در بتن قبل از اعمال بارگذاری که سبب کاهش سختی الاستیک نمونه آزمایشگاهی دال بتنی شده می‌باشد، به گونه‌ای که هر چه در نرم‌افزار برای مدل‌سازی صحیح (نزدیک به واقعیت) بتن مسلح تلاش شود باز هم میان نتایج حاصل از نرم‌افزار و نتایج آزمایشگاهی تفاوت وجود خواهد داشت.

۴- نتایج تحلیل المان محدود

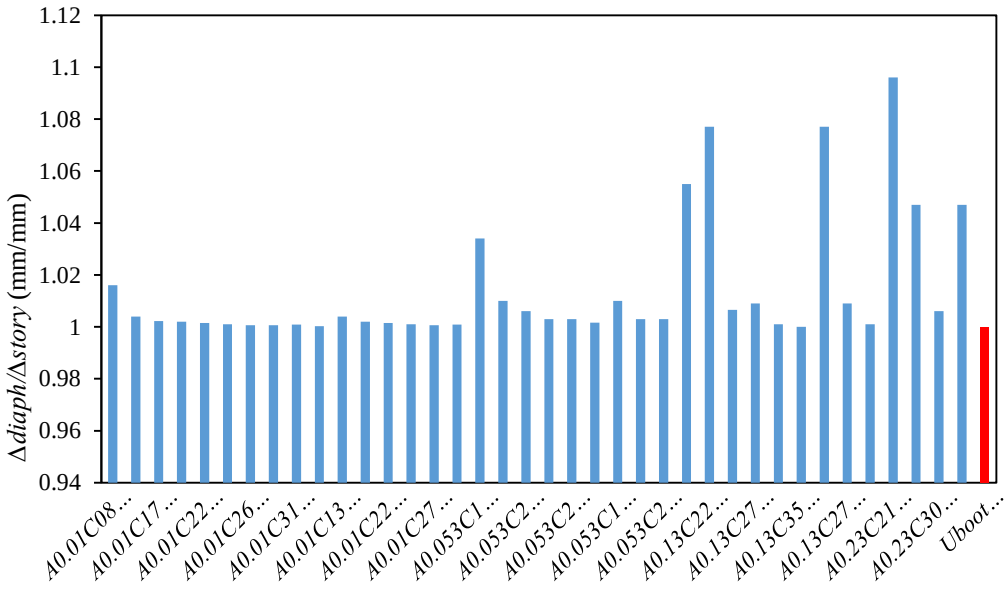
در این بخش نتایج حاصل از تحلیل اجزای محدود استخراج و سختی درون صفحه دال‌ها با مقایسه جابجایی درون صفحه دال نسبت به جابجایی طبقه تحت نیروی جانبی بررسی می‌شود. به طور نمونه در نمودار شکل ۸ اثر جابجایی بازشوها با مقدار $\alpha = 0.13$ بر روی سختی درون صفحه دال مجوف یوبوت مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

www.SID.ir



شکل ۸- حداکثر تغییر شکل افقی دال یوبوت به تغییر مکان نسبی متوسط طبقه

بیشترین مقدار نسبت تغییرشکل دیافراگم به تغییرمکان نسبی طبقه مربوط به مدل با بازشوی گوشه بوده که در واقع کمترین مقدار سختی درون صفحه دال یوبوت را نشان می‌دهد. اما کمترین مقدار نسبت تغییر شکل دیافراگم به تغییرمکان نسبی طبقه در مدل با بازشوی وسط بوده که بیشترین مقدار سختی درون صفحه دال را نشان می‌دهد. در نمودار شکل ۹ نیز اثر ابعاد بازشوها بر روی سختی درون صفحه دال مجوف یوبوت مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد.



شکل ۹- حداکثر تغییر شکل افقی دال یوبوت به تغییر مکان نسبی متوسط طبقه برای تمامی ابعاد بازشوها

بیشترین مقدار نسبت تغییرشکل دیافراگم به تغییرمکان نسبی طبقه مربوط به مدل $A_{0.23}C_{218,45}$ با بزرگترین بازشوی گوشه بوده که در واقع کمترین مقدار سختی درون صفحه دال یوبوت را نشان می‌دهد. اما کمترین مقدار نسبت تغییر شکل دیافراگم به تغییرمکان نسبی طبقه در مدل $A_{0.01}C_{353,45}$ با کوچکترین بازشوی میانی بوده که بیشترین مقدار سختی درون صفحه دال یوبوت را نشان می‌دهد.

۵- خلاصه و نتیجه‌گیری

دال مجوف یوبوت به منظور کاهش مصرف بتن و میلگرد و با حفظ مقاومت دال‌های تخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع دال در ادامه پژوهش‌های صورت گرفته بر روی دال مجوف حبابی و استفاده از انواع قالب‌های توخالی پلاستیکی به منظور کاهش مصرف بتن که در نهایت باعث کاهش وزن ساختمان و کاهش آسیب‌ها در هنگام زلزله خواهد شد ابداع گردید. در این مطالعه با جابجایی بازشوها با ابعاد مختلف به بررسی تغییرات سختی درون صفحه و صلبیت این نوع دال‌ها پرداخته شد. طراحی و شبیه‌سازی دال مجوف یوبوت بر اساس قالب‌های معرفی شده توسط چانگ و همکاران (۲۰۱۰) انجام و در روند مدل‌سازی دال‌ها با نرم افزار

www.SID.ir

آباکوس از بهترین مدل مشخصه جهت شبیه‌سازی رفتار مصالح استفاده تا به نتایج واقعی‌تری منتهی شود. هدف از انتخاب بازشوهایی با ابعاد و موقعیت‌های مختلف، انجام یک مطالعه پارامتریک برای بررسی عملکرد و کارایی این نوع دال می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق به صورت خلاصه و به شرح ذیل بیان می‌گردند.

- سختی درون صفحه دال یوبوت با بازشو میانی نسبت به مدل با بازشوی کناری و گوشه بیشتر است.
- واضح است که با افزایش سطح بازشو در سقف با دال یوبوت، سختی درون صفحه کمتر شده و رفتار آن به دیافراگم انعطاف پذیر تمایل پیدا نموده و بایستی در تحلیل سازه در برابر نیروی زلزله در نظر گرفته شود.
- اختلاف سختی درون صفحه دال با بازشو ۵۰×۵۰ سانتی متر نسبت به مدل بدون بازشو تقریباً ۱/۵ درصد می‌باشد. این اختلاف در بازشوهای ۱۱۶×۱۱۶ سانتی متر تا ۲ درصد، بازشوهای۱۸۰×۱۸۰ سانتی متر تا ۷ درصد و بازشوهای ۲۴۰×۲۴۰ سانتی متر تا حدود ۹ درصد می‌باشد.
- محل بهینه بازشوهای سقف جهت ایجاد کمترین تأثیر بر سختی درون صفحه دیافراگم دالها و تائید فرض صلبیت در تحلیل جانبی سازه‌ها، در بخش میانی دال بوده و موجب توزیع بهتر نیروی اینرسی به نسبت سختی عناصر باربر جانبی بین آنها می‌شود.

علی‌رغم نتایج بدست آمده از این مطالعه، نیاز به تحقیقات بیشتری بوده و فاکتورها و پارامترهای دیگری که جهت بررسی در مطالعات آتی پیشنهاد می‌شوند عبارتند از:

۱- بررسی عملکرد دال مجوف یوبوت با تغییر شرایط مرزی.

۲- شبیه‌سازی مدل اجزای محدود انواع دال‌های بتنی توخالی با بازشوهای با اندازه و موقعیت‌های متنوع‌تر تحت تاثیر بار جانبی.

۳- بررسی دال‌های مجوف یوبوت تحت تاثیر انواع بارهای جانبی هارمونیک و رکوردهای زلزله‌های نزدیک و دور از گسل.

۴- بررسی تاثیر گوی‌های توخالی بر روند تشکیل ترک‌ها در نواحی مجاور ستون‌های مساعد برش پانچ.

۵- تاثیر نوع گوی بر روی بیشینه جابجایی دال‌ها تحت تاثیر شرایط مرزی متفاوت.

منابع

۱. استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۹۳)، «آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله»، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، وزارت راه و شهرسازی

۲. رضایی علی اکبر، فرزام مسعود (۱۳۹۵)، «بررسی رفتار برشی-خمشی دال‌های مجوف با سیستم یوبوت»، چهارمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، معماری و توسعه پایدار، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۳. عبادی پرویز، محمدی حسام (۱۳۹۵)، «بررسی کفایت دال‌های تخت بتنی مجوف مکعبی(یوبوت) در برش یکطرفه و دوطرفه»، هشتمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران

۴. هوشیار آرام، نبوی سید اسرافیل، ایمانی هوشیار (۱۳۹۲)، «بررسی اثر بازشوهای با اشکال و ابعاد مختلف بر تنش دال های بتنی دوطرفه»، پنجمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران

5. Chung, J.H., Choi, H.K., Lee, S.C., and Choi, C.S. (2011). Shear capacity of biaxial hollow slab with donut type hollow sphere, Procedia Engineering 14. pp. 2219-2222.
6. Chung, J.H., Choi, H.K., Lee, S.C., and Choi, C.S. (2011). Punching shear strength of biaxial hollow slab with donut type hollow sphere, Key Engineering Materials 452-453. pp. 777-780.
7. Chung, J.H., Choi, H.K., Lee, S.C., and Choi, C.S. (2010). An analytical study on the impact of hollow shapes in bi-axial hollow slabs, Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures-High Performance, Fiber Reinforced Concrete, Special Loadings and Structural Applications- B. H. Oh, et al. (eds) Korea Concrete Institute, ISBN 978-89-5708-182-2.
8. Kim, B.H., Chung, J.H., Choi, H.K., Lee, S.C., and Choi, C.S. (2011). Flexural capacities of one-way hollow slab with donut type hollow sphere, Key Engineering Materials 452-453. pp. 773-776.

www.SID.ir

www.SID.ir