

ارزیابی مشارکت سیستم سقف دال مجوف یوبوت تحت بارگذاری جانبی زلزله توسط مدل عددی المان محدود

احسان ترکمانه پرنشانی^۱

^۱ کارشناس ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

نام نویسنده مسئول:

احسان ترکمانه پرنشانی

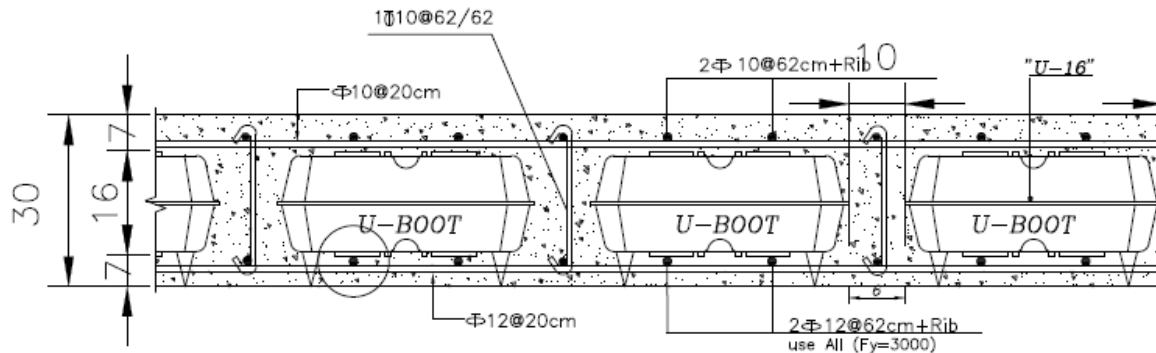
چکیده

امروزه مهندسين و طراحان سازه طبق ضوابط نظام مهندسی مجبور به صرف نظر کردن از ظرفیت باربری جانبی واقعی سیستم سقف نوین دال مجوف یوبوت می باشند که باعث افزایش بیش از حد و غیراقتصادی شدن ابعاد المان های سازه ای می گردد. هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی درصد واقعی مشارکت سیستم سقف دال مجوف یوبوت تحت بار جانبی زلزله از طریق مدل سازی واقعی عددی و المان محدود می باشد. به طور کلی در این تحقیق سیستم دال تخت-ستون که بیشترین کاربرد در این نوع سقف ها را داراست، توسط ۴ سازه سه بعدی یک طبقه که در طول دهانه و ضخامت دال مجوف یوبوت با یکدیگر تفاوت دارند در نرم افزار SAP2000 مدل سازی می شوند. هر سازه در دو حالت مدل می گردد که در حالت اول سقف یوبوت به صورت واقعی و دقیق در نرم افزار مدل می شود و در حالت دوم یک سقف توپر هم ضخامت دال مورد نظر و با صرف نظر از سختی خمشی و باربری جانبی مطابق روش مرسوم طراحی این نوع از سازه ها، مدل می گردد. دو پارامتر تغییر مکان بام و لنگر پای ستون ها جهت مقایسه ای این دو حالت در نظر گرفته می شود. نتایج نشان می دهد که بسته به دهانه و ضخامت دال های یوبوت، چشم پوشی از سختی جانبی این نوع دال می تواند تا ۱۷ درصد خطا در افزایش لنگر خمشی طراحی ستون ها و تا ۲۲ درصد خطا در افزایش تغییر مکان جانبی سازه را ایجاد نماید. در جهت اصلاح این موضوع ضرایب مشارکت دال ها تحت بارهای جانبی برای سازه های مورد نظر ارائه می گردد.

واژگان کلیدی: دال مجوف یوبوت، سختی جانبی، ظرفیت باربری جانبی، ضرایب مشارکت دال ها.

مقدمه

سیستم سقف دال مجوف از جمله سیستم‌های نوین باربر ثقلی می‌باشد که امروزه مورد توجه طراحان سازه در سراسر جهان به ویژه ایران قرار گرفته است. این سیستم که عملکرد دال دوطرفه دارد متشکل از قالب‌هایی ماندگار توخالی در سقف از جنس پلی‌پروپیلن به نام یوبوت با فواصل مشخص و ارتفاع‌های متنوع می‌باشد که علاوه بر سبک‌سازی سقف به آکوستیک نمودن فضاهای داخلی سازه کمک شایانی می‌نماید و دهانه‌های بلند تا ۱۷ متر را پوشش می‌دهد (شکل ۱).



شکل ۱: جزئیات سقف دال مجوف یوبوت

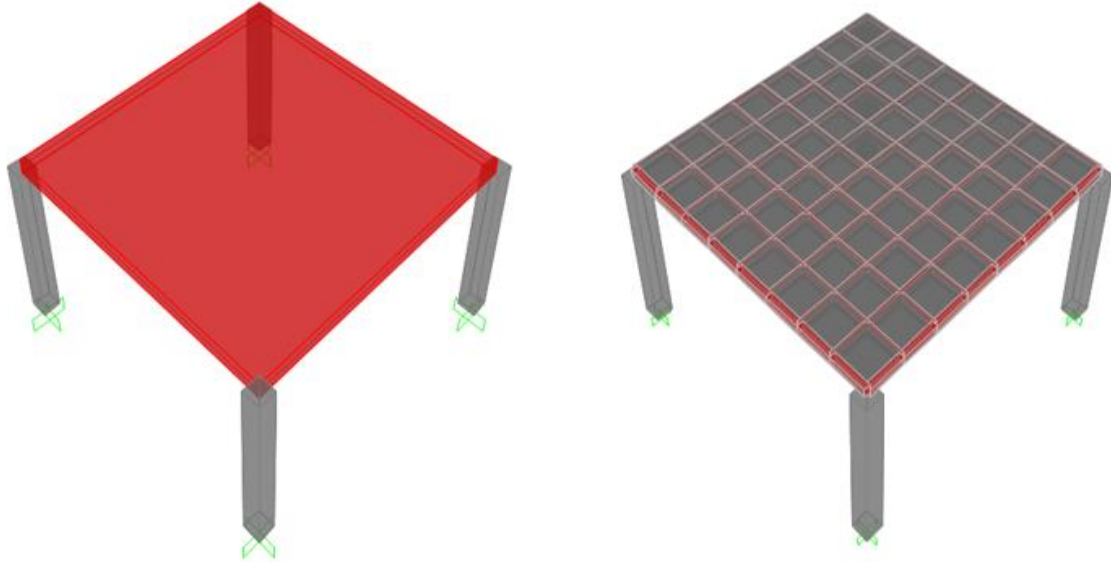
مشارکت یا عدم مشارکت سیستم‌های دال در برابر بارهای جانبی از موضوعاتی است که به طور گسترده مورد بحث و تحقیق توسط پژوهشگران و محققین نبوده است و در واقع خرابی‌هایی که تحت تأثیر بار لرزه‌ای در دال‌ها رخ می‌دهد موردنظر بوده است که علاوه بر سازه‌های ساختمانی در پل‌ها و سدها نیز این موضوع مورد توجه واقع شده است. در مطالعه‌ای که توسط (Nie Jianguo, 2012) به دوصورت آزمایشگاهی و عددی بر روی رفتار لرزه‌ای قالب‌های کامپوزیت با در نظر گرفتن رفتار دال‌ها صورت گرفت، نشان داده شد که سختی، مقاومت و جذب انرژی قالب‌ها با در نظر گرفتن سختی خمشی دال افزایش می‌یابد [1]. طبق پژوهشی که در مورد تأثیر رفتار لرزه‌ای دال‌ها بر سدهای سنگریزه‌ای توسط (Wei-junCen, 2016) انجام گردید، توزیع خرابی و محل ترک‌های ریز با شدت زمین‌لرزه تغییر می‌کند و در واقع تأثیر بار جانبی و مشارکت دال‌ها در برابر بار زلزله را در سد نشان می‌دهد [2]. در تحقیقی که توسط (J. Shu, 2015) بر روی استراتژی‌های طراحی دال‌های دوطرفه صورت گرفت، نتیجه گردید که پارامترهای هندسی نظیر عرض ترک دال‌ها و نسبت پواسون بعد از ترک‌ها تأثیرات عمده‌ای بر رفتار لرزه‌ای سازه‌ها دارد [3]. همچنین بنابر پژوهشی که اخیراً توسط (A. Arshian, 2017) در مورد ارزیابی احتمالی ظرفیت باربری نهایی جانبی در دال‌های بتنی مسلح دو طرفه انجام گردید، نشان داده شد که ضخامت دال‌ها و مقاومت فشاری دال‌ها تأثیراتی بر سختی جانبی سازه‌های بتنی داشته و چشم‌پوشی از این موضوع می‌تواند باعث خطاهای متعدد در مدل‌سازی گردد [4].

۱- روش انجام پژوهش

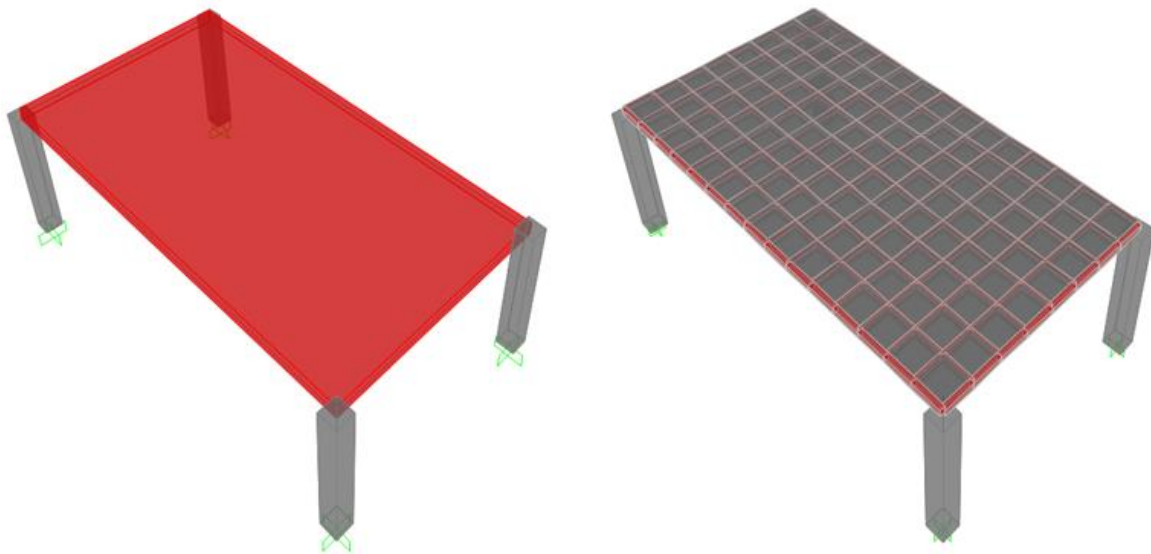
به طور کلی در این تحقیق سیستم دال تخت-ستون توسط ۴ سازه سه‌بعدی یک‌طبقه که در طول دهانه و ضخامت دال مجوف یوبوت با یکدیگر تفاوت دارند در نرم‌افزار SAP2000 مدل‌سازی می‌شوند [5]. هر سازه در دو حالت مدل می‌گردد که در حالت اول سقف یوبوت به صورت واقعی و دقیق در نرم‌افزار مدل می‌شود و در حالت دوم یک سقف توپر هم‌ضخامت دال موردنظر و با صرف‌نظر از سختی خمشی و باربری جانبی مطابق روش مرسوم طراحی این نوع از سازه‌ها مدل می‌گردد. دو پارامتر تغییرمکان بام و لنگر پای‌ستون‌ها جهت مقایسه‌ی این دو حالت در نظر گرفته می‌شود. بار ثقلی برابر بار مرده دال‌ها و بار کف‌سازی و بار زنده معادل بار کاربری مسکونی طبق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان در نظر گرفته شد و بار زلزله مطابق آیین‌نامه ۲۸۰۰ وارد گردید [6], [7]. دقت شود که ضریب ۰,۲۵ ترک‌خوردگی دال‌ها در کلیه مدل‌ها اعمال شده است و ارتفاع طبقه ۳,۳ متر می‌باشد.

۱-۱- سقف یوبوت با ارتفاع قالب ۱۶ سانتی متر و ضخامت سقف ۳۰ سانتی متر

چهار سازه‌ی یک طبقه که به دو صورت تقریبی و اصلی مدل می‌شوند با ضخامت دال (۳۰ سانتی متر) و در طول دهانه متفاوت هستند در شکل های ۲ و ۳ نشان داده شده است. که در بخش بعد رفتار لرزه‌ای این دو حالت مدل سازی در برابر بار جانبی زلزله مورد مقایسه قرار می‌گیرد.



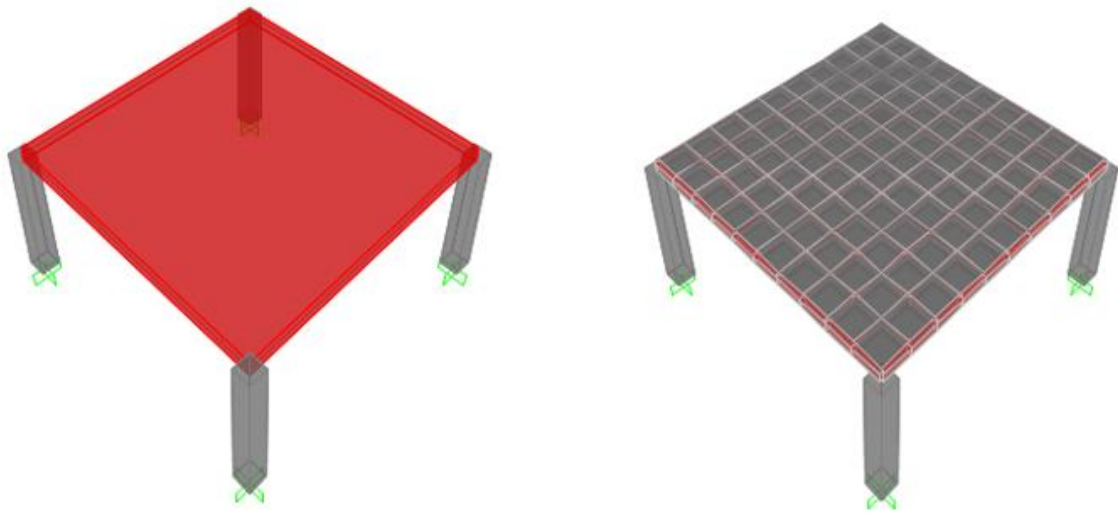
شکل ۲: مدل اصلی و تقریبی سیستم دال یوبوت-ستون با دهانه ۵ متر در دو طرف با ضخامت دال ۳۰ سانتی متر (سازه ۱)



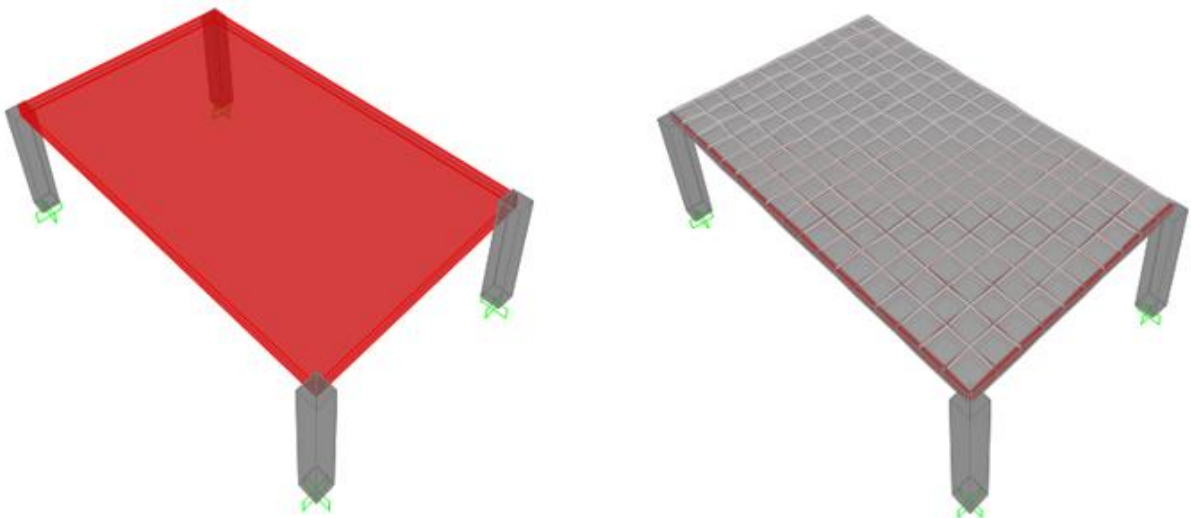
شکل ۳: مدل اصلی و تقریبی سیستم دال یوبوت-ستون با دهانه ۵ در ۹٫۳ متر با ضخامت دال ۳۰ سانتی متر (سازه ۲)

۱-۲- سقف یوبوت با ارتفاع قالب ۲۰ سانتی متر و ضخامت سقف ۳۵ سانتی متر

چهار سازه‌ی یک طبقه که به دو صورت تقریبی و اصلی مدل می‌شوند با ضخامت دال (۳۵ سانتی متر) و در طول دهانه‌ها متفاوت هستند در شکل های ۴ و ۵ نشان داده شده است. که در بخش بعد رفتار لرزه‌ای این دو حالت مدل سازی در برابر بار جانبی زلزله مورد مقایسه قرار می‌گیرد.



شکل ۴: مدل اصلی و تقریبی سیستم دال یوبوت-ستون با دهانه ۶٫۲ متر در دو طرف با ضخامت دال ۳۵ سانتی‌متر (سازه ۳)



شکل ۵: مدل اصلی و تقریبی سیستم دال یوبوت-ستون با دهانه ۶٫۲ در ۱۰ متر با ضخامت دال ۳۵ سانتی‌متر (سازه ۴)

۲- تجزیه و تحلیل خروجی‌ها

هریک از سازه‌های موردنظر تحت بار ثقلی و لرزه ای قرار گرفته و دو پارامتر تغییرمکان بام و لنگر پای ستون‌ها که به نوعی لنگر طراحی ستون‌ها می‌باشد، تحت بار جانبی زلزله در راستای دهانه بزرگتر سازه مورد مقایسه سازه‌های اصلی و تقریبی قرار می‌گیرد.

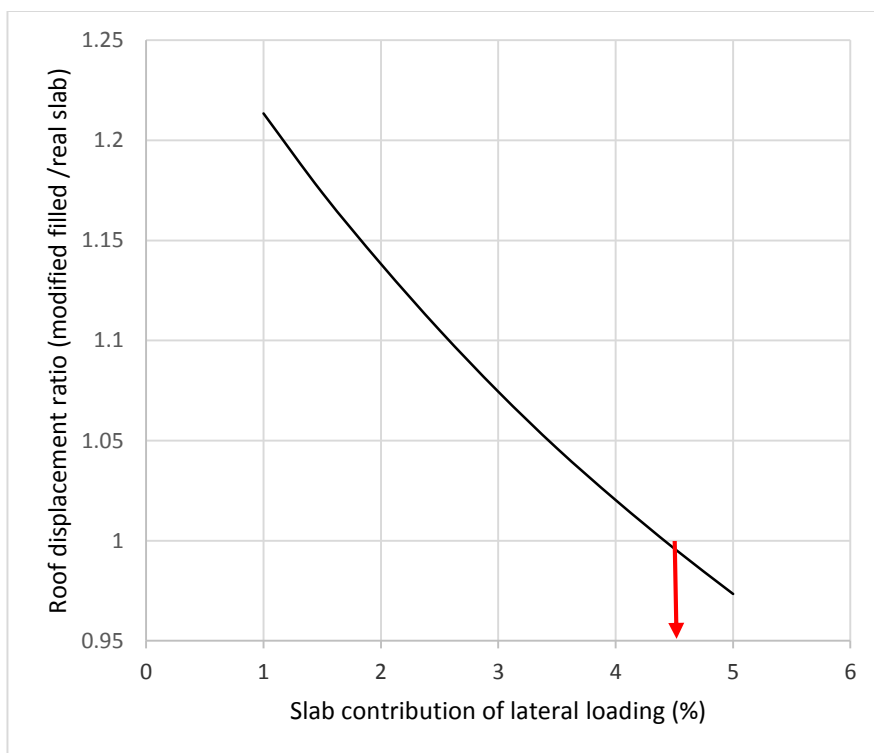
۲-۱- مقایسه بر مبنای پارامتر تغییرمکان بام

جدول ۱ مقادیر تغییرمکان بام تحت بار جانبی برای هر چهار سازه ی موردنظر در حالات مدل‌سازی دقیق و تقریبی نشان داده است. همچنین درصد خطای تغییرمکان مربوط به مدل‌سازی تقریبی هر سازه در ستون آخر قابل مشاهده می‌باشد.

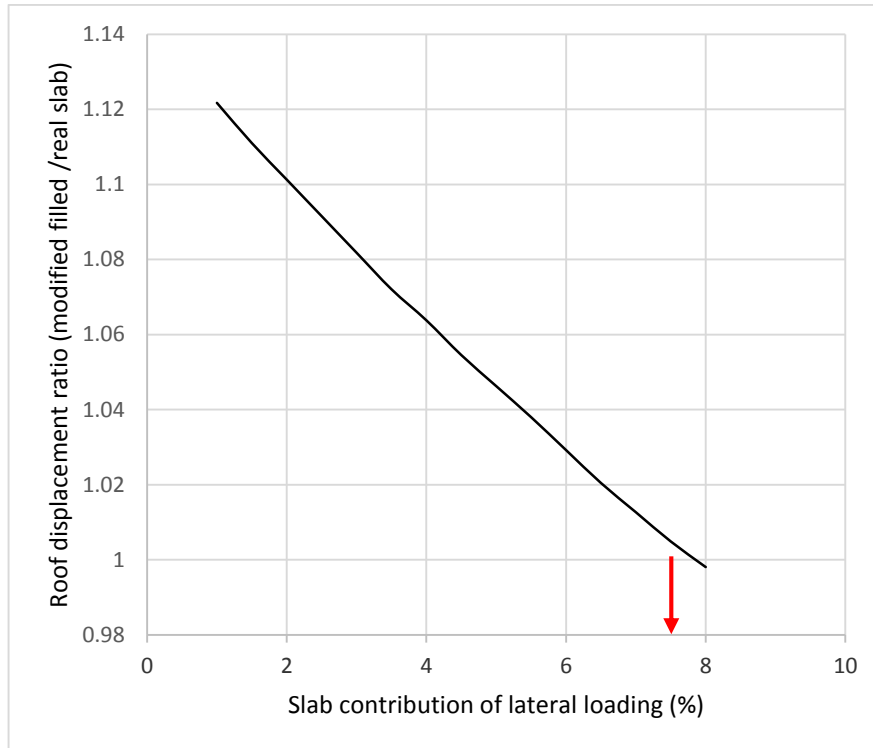
جدول ۱: محاسبه‌ی درصد خطای مدل‌های تقریبی بر اساس تغییرمکان

شماره سازه	طول دهانه بزرگ (متر)	ارتفاع قالب یوبوت (سانتی‌متر)	ضخامت دال (سانتی‌متر)	تغییرمکان بام در سازه اصلی (سانتی‌متر)	تغییرمکان بام در سازه تقریبی بدون سختی خمشی دال (سانتی‌متر)	خطا در مدل تقریبی (درصد)
1	5	16	30	1.237	1.501	21.3
2	9.3	16	30	1.027	1.152	12.2
3	6.2	20	35	0.998	1.11	11.2
4	10	20	35	0.832	0.889	6.9

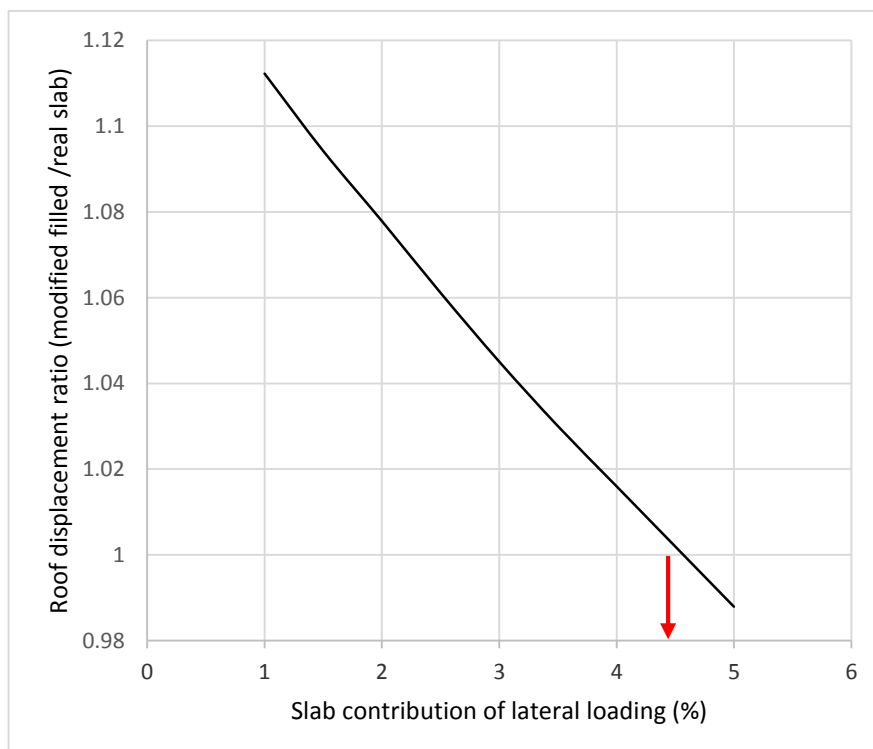
بر اساس جدول ۱ بیشترین خطا مربوط به سازه ی شماره یک می‌باشد که دارای کوتاه‌ترین دهانه و کمترین ضخامت دال یوبوت از بین چهار سازه موردنظر می‌باشد. از مقایسه ی سازه ۱ و ۲ نتیجه می‌گردد که در ضخامت ثابت دال یوبوت با افزایش دهانه، خطای مدل‌سازی تقریبی کاهش پیدا می‌کند. همچنین ملاحظه می‌گردد که افزایش ضخامت دال‌ها تأثیر قابل توجه‌ای بر کاهش خطای مدل‌سازی تقریبی دارد. در ادامه با استفاده از نموداری که محور افقی آن را درصد مشارکت دال در سازه تقریبی تحت بار جانبی و محور قائم آن را نسبت تغییرمکان مدل تقریبی به مدل اصلی نشان می‌دهد، درصد مشارکت واقعی هر یک از چهار سازه موردنظر برآورد می‌شود (شکل ۶ تا ۹).



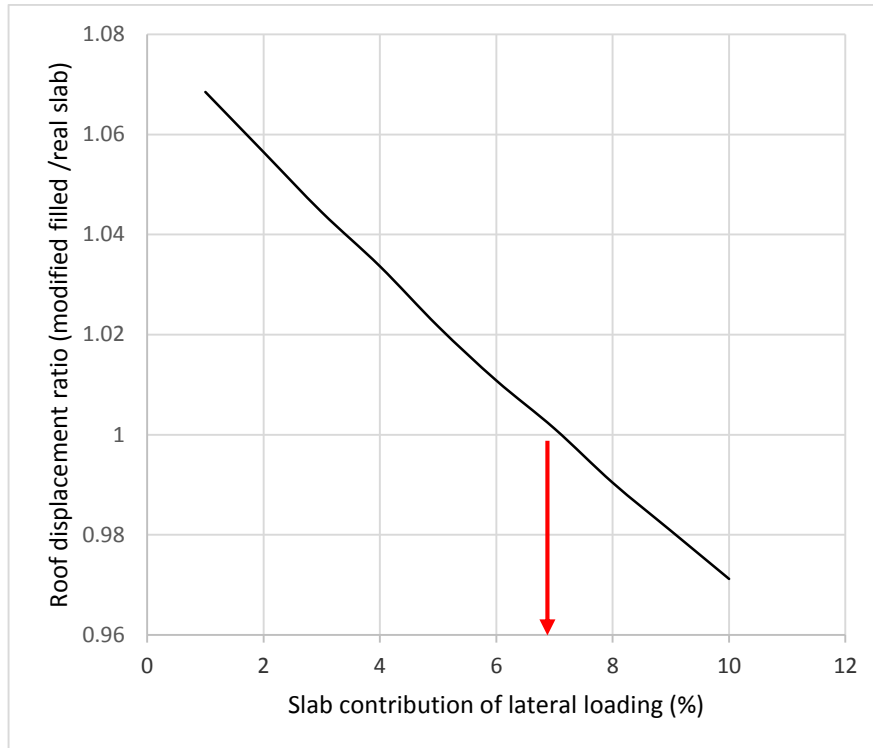
شکل ۶: نمودار درصد مشارکت جانبی دال یوبوت برای سازه تقریبی ۱



شکل ۷: نمودار درصد مشارکت جانبی دال یوبوت برای سازه تقریبی ۲



شکل ۸: نمودار درصد مشارکت جانبی دال یوبوت برای سازه تقریبی ۳



شکل ۹: نمودار درصد مشارکت جانبی دال یوبوت برای سازه تقریبی ۴

بنابراین با توجه اشکال ۶ تا ۹، ضرابی که می‌بایست به عنوان اصلاح دال توپر و شبیه سازی هرچه بیشتر سازه های ۱ تا ۴ به واقعیت، استفاده شود به ترتیب برابر ۴,۴، ۷,۸، ۴,۶ و ۷,۲ درصد می‌باشد. ملاحظه می‌گردد که با افزایش دهانه ضریبی که می‌بایست جهت اصلاح استفاده شود افزایش یافته و در این جا تا ۸ درصد باربری جانبی قابل پیش‌بینی است.

۲-۲- مقایسه بر مبنای پارامتر لنگر خمشی پای ستون‌ها

جدول ۲ مقادیر لنگر خمشی پای ستون‌ها تحت بار جانبی برای هر چهار سازه ی موردنظر در حالات مدل‌سازی دقیق و تقریبی نشان داده است. همچنین درصد خطای لنگر خمشی ستون‌ها مربوط به مدل‌سازی تقریبی هر سازه در ستون آخر قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۲: محاسبه‌ی درصد خطای مدل‌های تقریبی بر اساس لنگر خمشی پای ستون‌ها

شماره سازه	طول دهانه بزرگ (متر)	ارتفاع قالب یوبوت (سانتی‌متر)	ضخامت دال (سانتی‌متر)	لنگر خمشی پای ستون‌ها در سازه اصلی (تن-متر)	لنگر خمشی پای ستون‌ها در سازه تقریبی بدون سختی خمشی دال (تن-متر)	خطا در مدل تقریبی (درصد)
1	5	16	30	4.24	4.93	16.3
2	9.3	16	30	10.62	11.71	10.3
3	6.2	20	35	10.6	11.62	9.6
4	10	20	35	20.83	22.46	7.8

باتوجه به جدول ۲، مشاهده می‌شود که بسته به ضخامت دال یوبوت و طول دهانه سازه، مدلسازی تقریبی تا حدود ۱۷ درصد خطای افزایشی در مقدار لنگر طراحی ستون‌ها را موجب می‌گردد که می‌تواند باعث افزایش مقطع ابعاد ستون و هدر رفتن فضای معماری و یا موجب افزایش درصد میلگرد مقاطع شود که در هر دو صورت با صرف نظر از سختی خمشی دال یوبوت هزینه‌هایی اضافی و بی‌مورد ایجاد می‌شود که سرجمع در کل سازه می‌تواند بسیار چشمگیر و قابل توجه باشد.

نتایج و پیشنهادات

- در این قسمت خلاصه نتایجی که در بخش‌های قبل بدان پرداخته شد، ارائه می‌گردد:
۱. خطای مدل‌سازی تقریبی که در آن از سختی خمشی جانبی دال یوبوت صرف‌نظر می‌گردد، امروزه تنها روش طراحی مجاز بوده و نتایج نشان داد که می‌تواند تا حدود ۲۲ درصد خطا در سختی جانبی و ۱۷ درصد خطا در لنگر طراحی ستون‌ها ایجاد کند که می‌بایست اصلاحات و تجدیدنظرهایی در این مورد صورت گیرد.
 ۲. با افزایش دهانه سازه، درصد مشارکت جانبی دال یوبوت، افزایش می‌یابد به طوری که با توجه به نتایج، دال یوبوت می‌تواند تا ۷,۸ درصد دال توپر هم‌صخامت خود عملکرد لرزه‌ای داشته باشد.
 ۳. با مقایسه‌ی سازه‌های شماره ۱ و ۳ که تقریباً طول دهانه‌ی مشابه‌ای دارند، با افزایش ضخامت دال یوبوت از ۳۰ به ۳۵ سانتی‌متر، خطای مدل‌سازی تقریباً ۵۰ درصد کاهش می‌یابد.
 ۴. هزینه‌هایی که جهت صرف‌نظر از ظرفیت باربری جانبی سیستم سقف یوبوت ایجاد می‌شود در کل می‌تواند بسیار قابل‌توجه و هنگفت باشد.
 ۵. پیشنهاد می‌گردد که نتایج این مدل‌سازی عددی با یک مدل‌سازی آزمایشگاهی دقیق مقایسه گردد. پیشنهاد می‌گردد سیستم‌های باربر جانبی دیگر نظیر دیوار برشی (برای سازه‌های بیش از ۳ طبقه) و قاب خمشی که همراه با سیستم سقف یوبوت مورد استفاده قرار می‌گیرد نیز مورد تحقیق قرار گیرد.

منابع و مراجع

- [1] N. Jianguo, H. Yuan, Seismic behavior of CFRSTC composite frames considering slab effects, *Journal of Constructional Steel Research Journal*, Volume 68, Issue 1, January 2012, Pages 165-175.
 - [2] W. Cen, L. Wen, Numerical simulation of seismic damage and cracking of concrete slabs of high concrete face rockfill dams, *Water Science and Engineering Journal*, Volume 9, Issue 3, July 2016, Pages 205-211.
 - [3] J. Shu, D. Fall, Development of modelling strategies for two-way RC slabs, *Engineering Structures Journal*, Volume 101, 15 October 2015, Pages 439-449.
 - [4] A. Arshian, G. Morgenthal, Probabilistic assessment of the ultimate load-bearing capacity in laterally restrained two-way reinforced concrete slabs, *Engineering Structures Journal*, Volume 150, 1 November 2017, Pages 52-63.
 - [5] Computers and Structures, Inc. SAP2000, version 17.1.1, Integrated structural analysis and design software. Berkeley, CA; 2017.
- [۶] مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، بارهای وارد بر ساختمان، ویرایش سوم، وزارت راه و شهرسازی، ۱۳۹۲.
- [۷] آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۲.