

بررسی عددی تاثیر شکل و ابعاد بازشوها در شکل پذیری لرزه‌ای و اتصالات ستون و دال بتنی مسلح شده با تقویت کننده ها و بولتهای برشی

محمدعلی لطف‌اللهی یقین، استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز
 نسیمه متذکر*، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه

*motazakern@yahoo.com

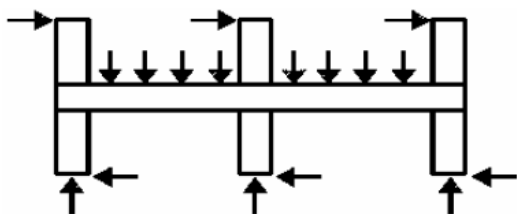
چکیده:

دال‌های بتن آرمه از مهمترین اجزاء سازه‌های بتنی محسوب می‌شوند. اجرای دال تخت به خاطر سادگی قالب‌بندی و سهولت آرماتورگذاری آسان‌تر از دال‌های دیگر بوده و اقتصادی‌تر می‌باشد ضمناً در ساختمان‌های با پلان‌های نسبتاً نامنظم از سازه‌های ستون- دال تخت زیاد استفاده می‌شود. متأسفانه این نوع از سازه‌ها در شکست برش پانچینگ مستعد هستند. ولی با تقویت کننده‌های برشی می‌توان این شکست ترد را کنترل کرد. بولتهای برشی یک نوع از این تقویت کننده‌ها می‌باشند که در این تحقیق به تاثیر آنها بر روی دال پرداخته شده است. از سوی دیگر اغلب به دلیل عبور کانال تهویه هوا، آب و برق به طبقات بالا در دال‌ها بازشوهایی قرار داده می‌شود. وجود بازشوها، شکل و ابعاد آنها در محل اتصال دال به ستون در مقاومت و شکل‌پذیری دال موثر می‌باشد. این نمونه‌ها تحت بار محوری و بارهای جانبی سیکلی قرار گرفته‌اند. بار گرانشی در طول آنالیز ثابت بوده و بارهای جانبی افزایش می‌یابند. حداکثر تنش ایجاد شده و جابه‌جایی و خیز در نقاط مختلف از دال و شکل‌پذیری نمونه‌ها باهم مقایسه شده است. نتایج آنالیز و خروجی‌ها نشان داده‌اند که بولتهای برشی می‌توانند ظرفیت مقاومت دال در حداکثر بار جانبی و شکل‌پذیری دال را افزایش دهند. و مد شکست را در اتصالات دال- ستون تغییر دهند. ابعاد بازشو مربعی هرچه کوچکتر باشد بهتر بوده و بازشو دایره ای نسبت به بازشو مربعی با مساحت یکسان شکل‌پذیری بیشتری در دال ایجاد می‌کند.

کلید واژگان: دال بتنی، بازشو، بولتهای برشی، برش پانچینگ، شکل‌پذیری

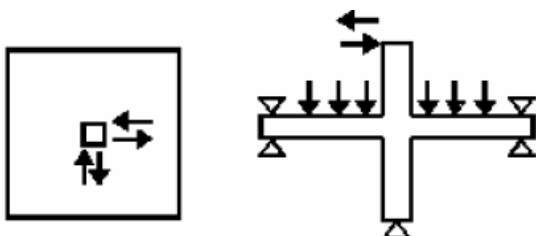
۱- مقدمه

ترتیب در کرنش $1/5\%$ و 1% به شکست رسیده اند [۴] این کار نشان می‌دهد که وقتی بار گرانشی افزایش می‌یابد، ظرفیت برای انتقال گشتاور و شکل پذیری در اتصالات کاهش می‌یابد. نمودارهای هیسترسیز گشتاور در مقابل کرنش برای نمونه های A و B و C (با افزایش بار گرانشی) نشان می‌دهد که ظرفیت کرنش جانبی، سختی و اتلاف انرژی کاهش می‌یابند. Robertson و Durrani یک محدودیت طراحی، $v_u / v_0 < 0.35$ را در نظر گرفتند. که در اینجا v_u نیروی برشی مستقیم در حداکثر بار جانبی و v_0 ظرفیت برشی اسمی دال است [۴].



شکل ۲- نمونه ها شامل اتصالات دال - ستون داخلی و خارجی [۴]

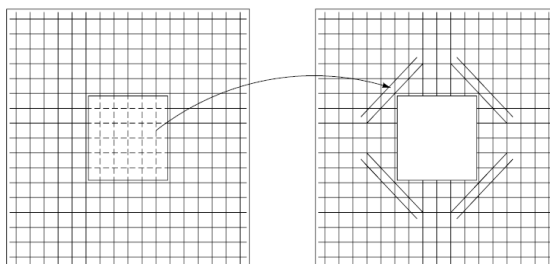
Pan و Moehle بر روی اثر بار جانبی دو محوره و بار گرانشی روی رفتار اتصالات دال - ستون تحقیق کردند (شکل ۳). تعدادی از نمونه‌ها برای کرنش دوره ای یک محوره و بقیه برای دو محوره در نظر گرفته شده است. نتیجه گیری شد که بارهای سیکلی جانبی سختی، مقاومت و ظرفیت کرنش را در اتصالات دال - ستون کاهش می‌دهد. شکل (۴) نیروی جانبی در مقابل کرنش را برای نمونه های ۱ تا ۴ نشان می‌دهد. نمونه ۱ و نمونه ۲ همان میانگین گرانشی تنش برشی اسمی روی مقطع بحرانی را داشته است. نتیجه این است که بارهای دوره‌ای دو محوره باعث کاهش سختی، مقاومت و ظرفیت کرنش در مقایسه با وضع بارگذاری سیکلی یک محوره هستند شکل (۴) همچنین نشان داده است که سطح بار گرانشی زیاد، سختی، مقاومت و ظرفیت کرنش را کاهش می‌دهد [۵].



شکل ۳- آزمایش بارگذاری دو محوره [۵]

بسیاری از دال‌های تخت بتنی بخصوص قدیمی‌ترین آنها بدون هیچ گونه تقویت کننده‌های برشی ساخته شده‌اند. ظرفیت برشی آنها تنها به مقاومت بتن بستگی دارد. اگر چه بتن قادر به فراهم کردن مقاومت برشی به اندازه کافی می‌باشد، اما نمی‌تواند شکل پذیری را در تغییر شکل‌های بزرگ تامین کند. وقتی که بارهای گرانشی بر روی اتصالات دال - ستون زیاد می‌شود، ترک در داخل دال در مجاورت ستون اتفاق می‌افتد. این ترک‌ها با زاویه 20° تا 45° در زیر دال تکثیر می‌شوند که این می‌تواند شروع برش پانچینگ در طول ترک‌ها باشد. در طول زمین لرزه نیروهای اینرسی افقی باعث ایجاد حرکت‌های افقی در زمین می‌شود که باعث به وجود آمدن کرنش جانبی در ساختمان‌ها و در نتیجه ایجاد چرخش در اتصال دال و ستون می‌شود که این چرخش باعث ایجاد گشتاور در اتصالات می‌شود و گشتاور تنش‌های برش پانچینگ را در اطراف ستون زیاد می‌کند. بنابراین دال تخت به راحتی در برابر نیروهای زلزله آسیب می‌بیند و فرو می‌ریزد. افزایش شکل‌پذیری و ظرفیت کرنش جانبی در اتصالات دال و ستون مهم می‌باشد [۱]. که در این تحقیق با استفاده از تقویت کننده‌ها و بولت‌های برشی، نمونه دال‌ها در برابر برش تقویت شده‌اند [۳ و ۲].

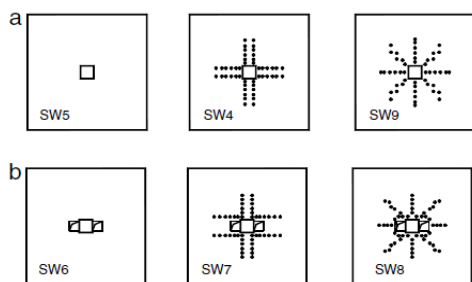
به دلیل عبور لوله‌های تاسیساتی، همه دال‌ها دارای بازشو می‌باشند. ابعاد بازشوها ممکن است بزرگ (برای راه پله‌ها و آسانسور) و کوچک (برای لوله‌های تاسیساتی) باشد. بازشوهایی کوچک اثرات سوء زیادی بر روی دال‌ها ندارند، در چنین بازشوهایی به تعداد میلگردهای قطع شده توسط بازشو، میلگردهای اضافی در گوشه‌های بازشو قرار داده می‌شوند (شکل ۱).



شکل ۱- تقویت کننده های اضافی مورب در گوشه بازشوها

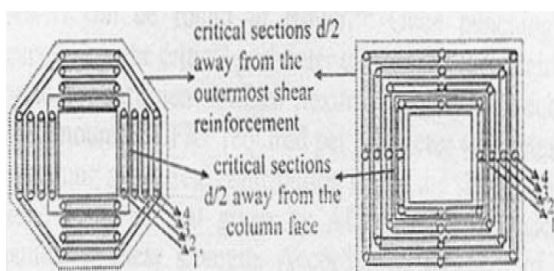
۲- مروری بر تحقیقات انجام گرفته

Robertson و Durrani سه نمونه آزمایش کردند که هر کدام با ۲ اتصال تیر - ستون خارجی و یک اتصال داخلی بودند و در شکل (۲) نشان داده شده است. این سه نمونه تحت بارهای عمودی مختلف و بارهای جانبی سیکلی قرار گرفته است. در نمونه A، B و C بارهای قائم به ترتیب $6/7 \text{ kpa}$ ، $13/6 \text{ kpa}$ ، $20/1 \text{ kpa}$ می‌باشد. در نمونه A در کرنش $3/5\%$ حداکثر بار جانبی 88 kn است در حالی که در نمونه‌های B و C به ترتیب $58/3 \text{ kn}$ و $42/7 \text{ kn}$ می‌باشد. نمونه A در ماکزیمم کرنش 5% به شکست رسیده و نمونه های B و C به



شکل ۶ - نمونه های آزمایشگاهی با بولت برشی [۲]

Stark و همکاران ۲ نمونه دال که با CFRP تقویت شده است را آزمایش کردند. تسمه های CFRP توسط اپکسی در سوراخ های دال پوشیده شده اند. CFRP ها همانند خاموت ها عمل می کنند. ستون ها در این جا از فولاد ساخته شده و توسط بولت های فولادی به دال بسته شده اند. یک بار ثابت قائم و بار جانبی دوره ای در نمونه ها بکار برده شده است. شکست برش پانچینگ در کرنش حدود ۲٪ برای نمونه بدون تقویت کننده برشی اتفاق می افتد در حالی که نمونه های تقویت شده می توانند کرنش حدود ۸٪ را بدون کاهش مقاومت داشته باشند (شکل ۷) [۷]

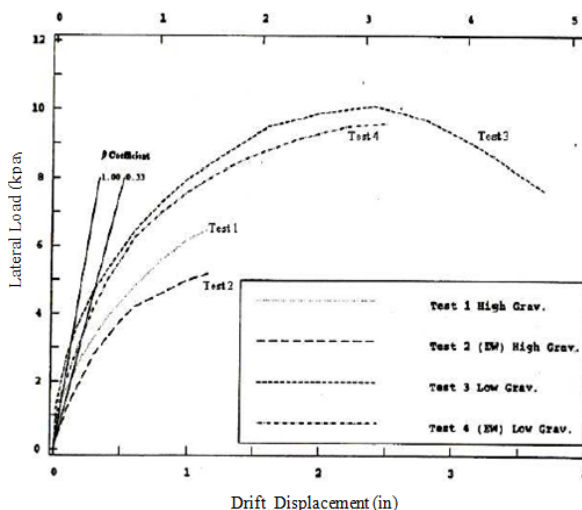


شکل ۷ - تقویت دال با CFRP [۷]

۳- مشخصات هندسی سازه

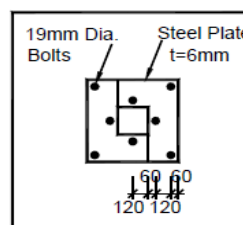
در تحقیق حاضر نمونه دال های بتنی به ابعاد ۱۸۰×۱۸۰ سانتی متر و به ضخامت ۱۲ سانتی متر و دو باز شو که با ابعاد مختلف در دو طرف ستون ایجاد شده، در نظر گرفته شده اند. در بالا و پایین دال ها ستون کوتاه ۲۰×۲۰ سانتی متر به اندازه ۷۰ سانتی متر از مرکز دال گسترش یافته است. یک نیروی گرانشی به مقدار ۴۰ کیلوگرم و دو نیروی جانبی به مقدار ۹۳۶۳ کیلوگرم در دو طرف ستون وارد می شود. همه نمونه ها در زیر دال با یک نمونه ۱۵۰×۱۵۰ سانتی متر پشتیبانی میشوند (شکل ۸).

در شکل (۹) شش نمونه مدل سازی شده با اشکال مختلف باز شو در دو طرف ستون و مکان قرارگیری بولت های برشی و نمونه بدون بولت برشی نشان داده شده است.



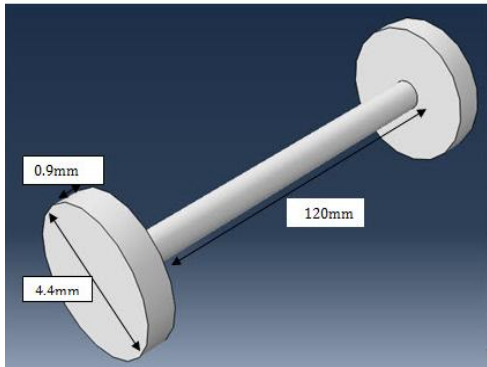
شکل ۴ - نیروی جانبی در مقابل جابه جایی جانبی [۵]

Marzouk و Ebad دالی به ابعاد ۱۹۰×۱۹۰×۱۵۰ میلیمتر و ستون ۲۴۰×۲۴۰ میلیمتر، که بوسیله ۸ بولت با قطر ۱۹ میلیمتر و صفحه فولادی به ضخامت ۶ میلیمتر در زیر و روی سطح دال در اطراف ستون تقویت شده است را آزمایش کردند. نمونه ها تحت بار قائم ثابت و بار جانبی سیکلی قرار گرفتند. آن ها نتیجه گرفتند که ظرفیت گشتاور حدود ۱۵٪ افزایش یافته است و اتصالات تقویت شده می توانند ۷۵٪ کرنش جانبی بیشتری نسبت به آن هایی که بدون بولت ها و صفحات فولادی هستند تحمل کنند. اتصالات تقویت شده می توانند به کرنش ۸٪ قبل از شکست برسند، در حالی که در صورت نبود تقویت کننده، دال می تواند تنها به کرنش حدود ۴٪ الی ۵٪ برسد (شکل ۵) [۶].

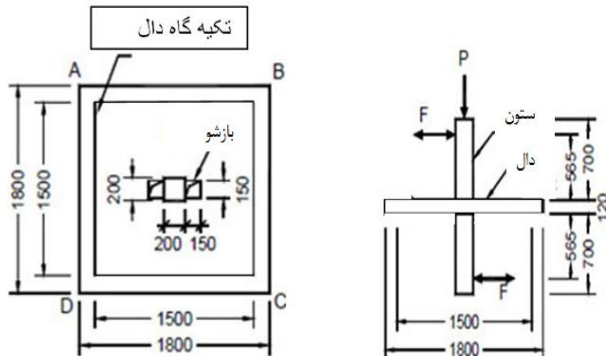


شکل ۵ - تقویت دال با بولتهای فولادی و صفحات [۶]

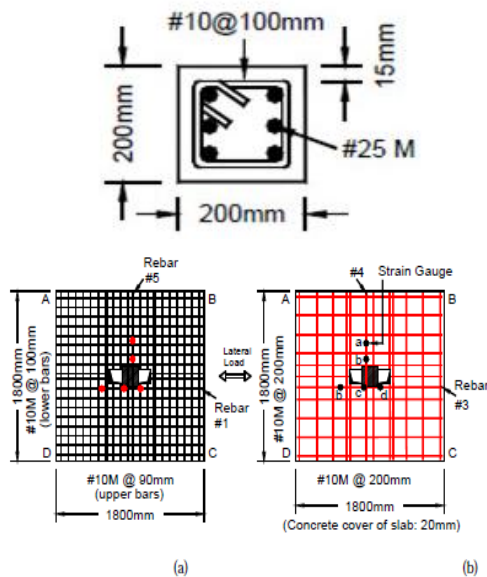
Polak ۶ نمونه دال با ابعاد ۱۸۰×۱۸۰ میلیمتر با یک ستون ۱۵۰×۱۵۰ میلیمتر، با و بدون بولتهای برشی در دو جهت قائم و شعاعی آزمایش کردند. از این آزمایش نتیجه گرفتند که بولت های برشی باعث افزایش شکل پذیری در دال می شوند و همچنین مد شکست از برشی ترد پانچینگ به شکست نرم تبدیل می شود (شکل ۶) [۲].



شکل ۱۱- شکل و ابعاد بولت برشی



شکل ۸- پلان نمونه های مدل سازی (اندازه ها بر حسب mm)

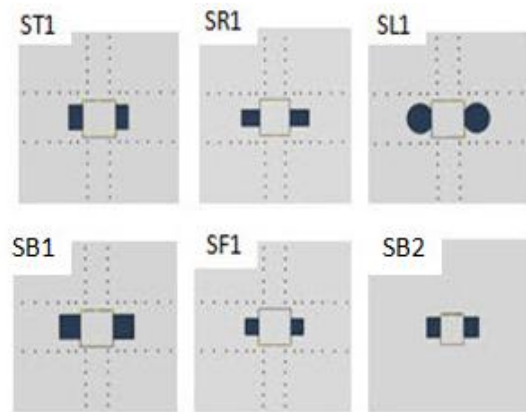


(a) (b)

شکل ۱۲- آرماتورهای خمشی در بالا و پایین دال و میلگرد ستون جدول (۱) مشخصات نمونه دال های مدل سازی شده با بازشوها دارای ابعاد مختلف بر حسب cm را نشان می دهد.

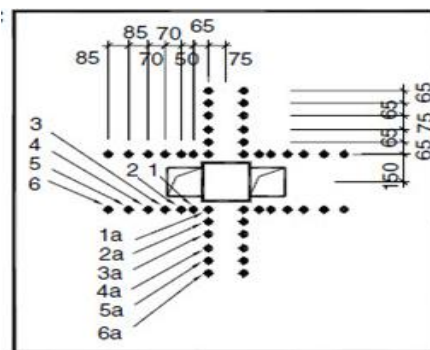
جدول ۱- نمونه دال ها با بازشوهای مختلف

نمونه دال	نام گذاری	شکل-ابعاد بازشو
با بولت برشی	SF1	10×10
با بولت برشی	SB1	15×15
با بولت برشی	SR1	15×10
با بولت برشی	ST1	10×15
با بولت برشی	SL1	دایره ای شکل



شکل ۹- نمونه ها با بازشوهای مختلف

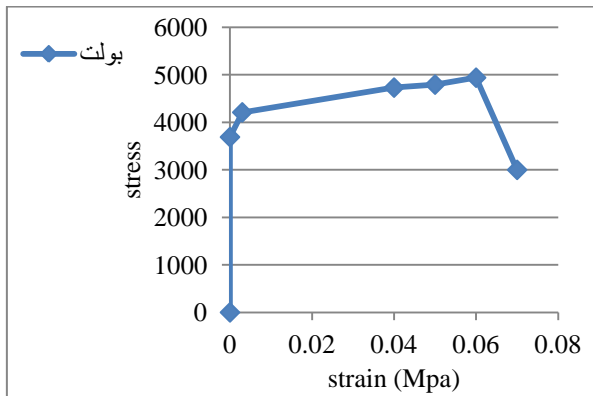
شکل و ابعاد بولتها و فاصله قرارگیری آنها در دال و همچنین آرماتورهای برشی در شکل های (۱۰) تا (۱۲) نشان داده شده است.



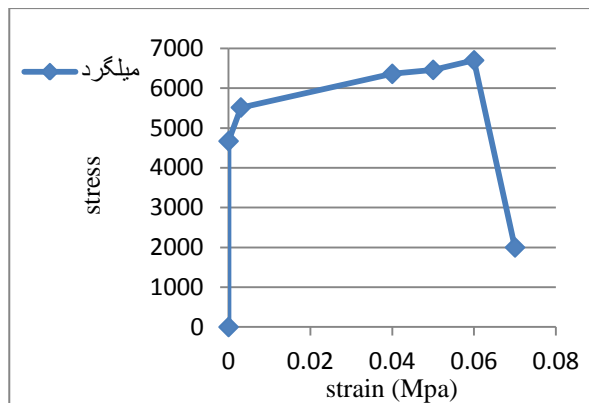
شکل ۱۰- فاصله و محل قرارگیری بولتهای برشی

۴-مدل سازی در نرم افزار ABAQUS

دال‌های بتنی و بولتهای فولادی که به عنوان تقویت کننده برشی در دال بکار برده می‌شوند هر کدام در یک جداگانه مدل سازی شده و محل قرار گرفتن بولتهای بر روی دال با در نظر گرفتن ضخامت دال و بولتهای سوراخ شده که در قسمت assembly جاگذاری می‌شود. میلگردهای خمشی در بالا و پایین دال و همچنین میلگردهای ستون به صورت المان wire ترسیم شده است. در شکل‌های (۱۳) و (۱۴) نمونه‌ای دال SB1 و بولت مدل سازی شده نشان داده شده است [۸ و ۹]. مشخصات و خصوصیات مواد بکار رفته در سازه در جدول (۲) ارائه شده است.



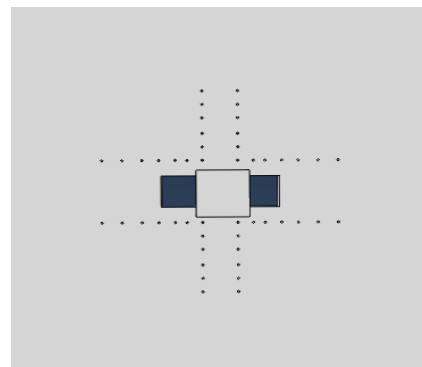
شکل ۱۵- نمودار تنش - کرنش در بولتهای فولادی



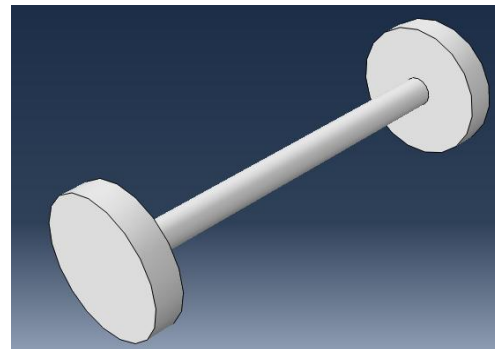
شکل ۱۶- نمودار تنش - کرنش در میلگردهای تقویتی

المان‌های ایجاد شده در قسمت part از جمله بولتهای و آرماتورهای دال و ستون در قسمت Assembly با هم مونتاژ می‌شوند. در این قسمت باید دقت شود که مرکز سوراخ ایجاد شده در دال با مرکز دایره ساق بولت منطبق باشد (شکل ۱۷).

برنامه نرم افزار ABAQUS بر هم کنش بین دو سطح مختلف از یک مدل را درک نکرده و برای تعریف بر هم کنش و تماس بین قسمت‌های مختلف باید از مدول Interaction استفاده کرد. در مدل سازی حاضر برای اتصال میلگردها به بتن از دستور embedded region و برای اتصال ستون به دال از دستور Tie استفاده شده است. در ابتدا ستون به عنوان یک قطعه صلب (rigid body) معرفی شده است، ولی به دلیل اینکه در این حالت قطعه صلب وارد تحلیل نمی‌شود و برای نشان دادن تاثیرات تنش روی ستون، ستون نیز به عنوان یک قطعه معمولی در نظر گرفته شد. همانطور که قبلاً اشاره شد بار جانبی به صورت سیکلی وارد می‌شود. در جدول (۳) دوره بارگذاری جانبی نشان داده شده است.



شکل ۱۳- المان solid دال و ستون با بازشوها و محل بولتهای

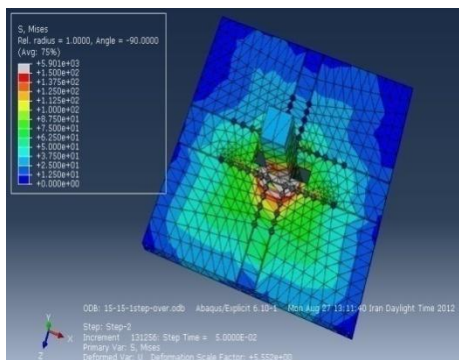


شکل ۱۴- المان solid بولتهای فولادی

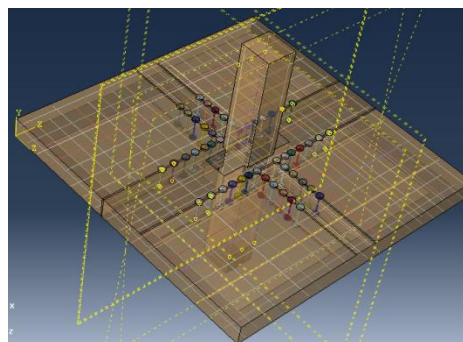
نمودار تنش- کرنش برای آرماتورها و بولتهای برشی در شکل‌های (۱۵) و (۱۶) نشان داده شده است.

جدول ۲- خصوصیات مواد و مصالح

مصالح	f'_c (kg/cm ²)	f'_t (kg/cm ²)	f_y	f_u	ν
بتن	520	34	-	-	0.2
میلگرد تقویتی	-	-	4650	6700	0.3
بولت	-	-	3690	4940	0.3

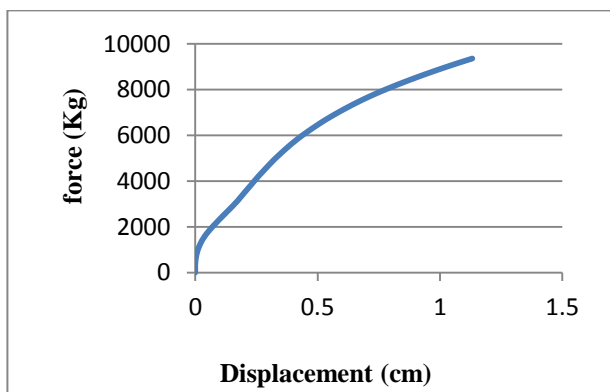


شکل ۱۸- نحوه توزیع تنش در نمونه SF1



شکل ۱۷- مونتاژ بولتها و آرماتورها
جدول ۳- مقادیر سیکی بار جانبی

Time/ Frequency	Amplitude
0	0
0.01	0.2
0.02	0.4
0.03	0.6
0.04	0.8
0.05	1

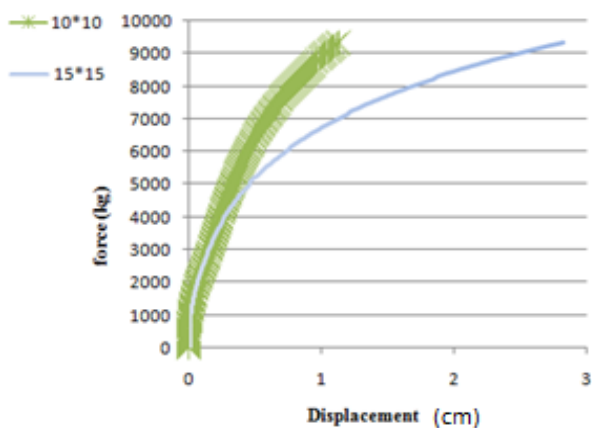


شکل ۱۹- نمودار بار - جابه جایی در نرم افزار (SF1)

۵- اتصالات دال و ستون

همان طور که قبلا اشاره شده است، دال ها از جمله رایج ترین نوع سقف در ساختمان ها به شمار می آیند که بیشتر مواقع در طراحی سازه ها دال سقفی به صورت صلب فرض می شود. در صورتی که در اثر ایجاد باز شو در آنها از صلبیتشان کم شده و ظرفیت برشی آنها کاهش می یابد بنابراین بررسی بازشوها و تقویت برشی آنها مهم می باشد. در این مقاله بولتهای برشی به عنوان تقویت کننده های برشی در اطراف بازشوها قرار داده شده است. همچنین با مدل سازی نمونه ها با بازشوه های مختلف از نظر شکل و ابعاد و مقایسه نتایج خروجی ها، شکل پذیری و جابه جایی آنها باهم مقایسه می شود.

دیگر نمونه ها نیز همانند نمونه SF1 مدل سازی شده و بعد از آنالیز و رسم نمودارهای بار- جابه جایی، نتایج حاصل از این آنالیزها و حداکثر مقادیر بدست آمده برای جابه جایی و تنش در نمونه ها در جدول (۴) نشان داده شده است. با مقایسه نمودارهای بار- جابه جایی در نمونه های SB1 و SF1 ، تاثیر ابعاد باز شو در دال ها نشان داده شده است. (شکل ۲۰)



شکل ۲۰- مقایسه نمودار بار جابه جایی در نمونه های SF1 و SB1

۶- نتایج و خروجی ها

۶-۱ نتایج نمونه ها با باز شو مربعی و مستطیلی

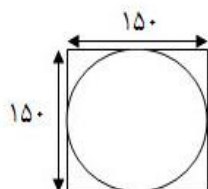
بعد از آنالیز مدل، نرم افزار مقدار تنش های ایجاد شده در قسمت های مختلف نمونه را بوسیله رنگ های مختلف که در اینجا از ۱۲ رنگ استفاده شده است نشان می دهد. در شکل (۱۷) به عنوان مثال نحوه توزیع تنش در نمونه SF1 نشان داده شده است. شکل (۱۸) نمودار بار- جابه جایی نمونه SF1 را در نرم افزار نشان می دهد.

جدول ۴- نتایج خروجی در ۴ نمونه

نمونه دال	نام گذاری	ابعاد بازشو (cm)	Max force (kg)	Max displacement (cm)	Max stress kg/cm ²
با بولت برشی	SB1	15×15	9363	2.82	5901
با بولت برشی	SF1	10×10	9363	1.132	5738
با بولت برشی	ST1	10×15	9363	1.686	5900
با بولت برشی	SR1	15×10	9363	1.122	5709

۶-۲ نتایج نمونه دال با بازشو دایره ای (SL1)

برای مقایسه نتایج بازشو دایره با بازشو مربعی، مساحت بازشو دایره با مساحت بازشو مربعی به ضلع ۱۵ سانتی متر مطابق شکل (۲۳) مساوی قرار داده شده است شکل (۲۴) نحوه توزیع تنش در نمونه SL1 و جدول (۵) حداکثر جابه جایی و حداکثر تنش در نمونه های SB1، SL1 را نشان می دهد. شکل های (۲۵) و (۲۶) مقایسه نمودارهای بار- جابه جایی در نمونه های فوق را نشان می دهد.

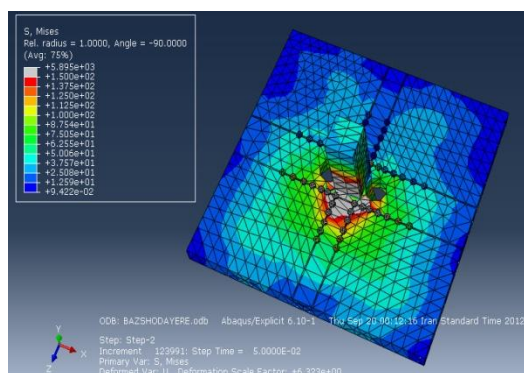


$$150 \times 150 = 22500$$

$$S = \pi R^2 = 22500 \rightarrow$$

$$R^2 = \frac{22500}{\pi} \rightarrow R = 84.62$$

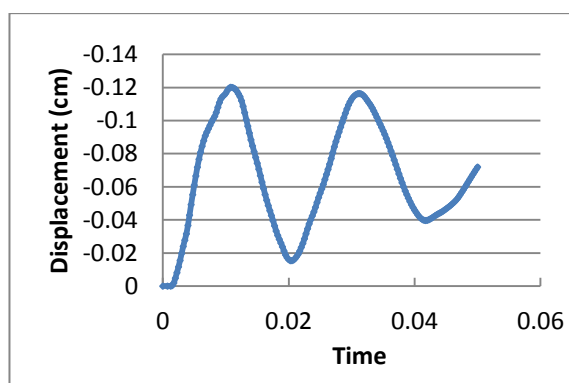
شکل ۲۳- برابر قرار دادن مساحت بازشوی مربعی با بازشو دایره ای شکل



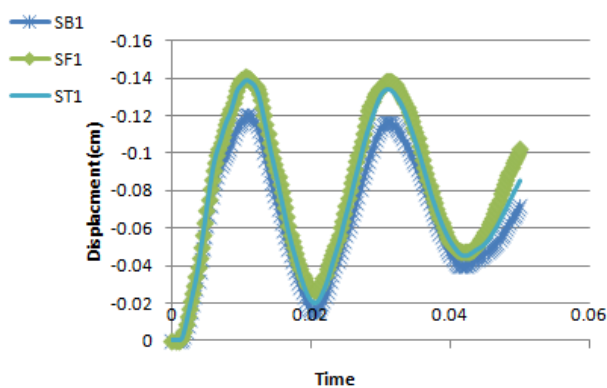
شکل ۲۴- نحوه توزیع تنش در نمونه SL1

همان طور که مشاهده می شود جابه جایی نمونه SB1 نسبت به نمونه SF1 بیشتر می باشد در نتیجه دال با بازشو ۱۵ سانتی متر مقاومت کمتری نسبت به نمونه دال با بازشو ۱۰ سانتی متر را به دنبال خواهد داشت (در حدود ۳ درصد).

در تمامی نمونه ها نمودارهای خیز (میزان شکل پذیری دال) در سه مکان مختلف از دال (گوشه بازشوها، فاصله ۱۰ سانتی متر از بازشو و در لبه دال در امتداد بازشوها) بررسی و نمودارهای آنها رسم شده است. برای نمونه در شکل (۲۱) نمودار خیز (شکل پذیری) دال در فاصله ۱۰ سانتی متر از بازشو در نمونه SB1 و در شکل (۲۲) مقایسه نمودارها در فاصله ۱۰ سانتی متر از دال نشان داده شده است.



شکل ۲۱- نمودار خیز دال در فاصله ۱۰cm از بازشو در نمونه SB1



شکل ۲۲- مقایسه شکل پذیری دال در فاصله ۱۰ سانتیمتری از بازشو

جدول ۶- نتایج شکل پذیری نمونه های SB1 و SL1

نمونه دال	نام گذاری	ابعاد بازشو (cm)	خیز دال در فاصله ۱۰cm از بازشو	خیز لبه دال در امتداد بازشو
با بولت برشی	SB1	15×15 مربع	-0.12017	0.027076
با بولت برشی	SL1	دایره ای	-0.12598	0.029915

با توجه به جدول (۵) مشاهده می‌شود که دال با بازشو دایره‌ای، شکل‌پذیری بهتری در مقایسه با دال با بازشو مربعی شکل (با مساحت یکسان) را دارد و در نتیجه در زمان وقوع زلزله مدت زمان طولانی‌تری برای تخریب و فرو ریختن ساختمان ایجاد می‌کند. همچنین با توجه به جداول (۶) و (۷) مشاهده می‌گردد که در صورت استفاده از بازشو مستطیلی به همراه بولت برشی، سازه‌ای مقاوم‌تر است که ضلع بزرگ آن در امتداد بولت‌ها قرار گیرد و یا به عبارت دیگر سطح بیشتری از بازشو توسط بولت‌ها تقویت شود.

جدول ۷- نتایج شکل پذیری نمونه های ST1 و SR1

نمونه دال	نام گذاری	ابعاد بازشو (cm)	خیز دال در گوشه بازشو	خیز دال در فاصله ۱۰cm از بازشو	خیز لبه دال در امتداد بازشو
با بولت برشی	ST1	10×15	-0.17585	-0.13903	0.026265
با بولت برشی	SR1	15×10	-0.16054	-0.127017	0.02614

جدول ۸- نتایج شکل پذیری نمونه های SB1 و SF1

نمونه دال	نام گذاری	ابعاد بازشو (cm)	خیز دال در گوشه بازشو	خیز دال در فاصله ۱۰cm از بازشو	لبه دال در امتداد بازشو
با بولت برشی	SB1	15×15	-0.16151	-0.12017	0.027076
با بولت برشی	SF1	10×10	-0.18165	-0.14053	0.028218

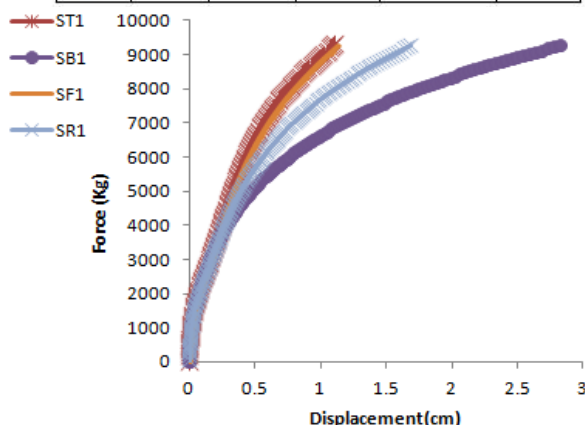
نتایج جدول (۸) نشان می‌دهد که هرچه بازشو با ابعاد کوچک‌تر در دال‌ها اجرا شود، سازه مقاوم‌تر و دال شکل‌پذیرتر خواهد بود.

۶-۳ مدل‌سازی و نتایج نمونه بدون بولت برشی

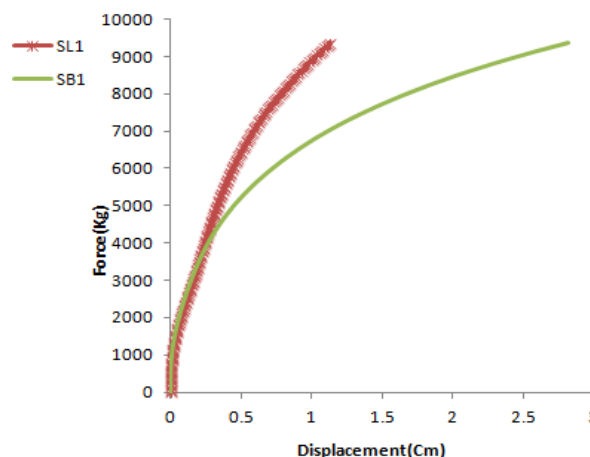
در این قسمت برای بررسی اثر وجود بولت‌های برشی در شکل‌پذیری و مقاومت خمشی دال به مدل‌سازی و آنالیز نمونه‌ای بدون استفاده از بولت‌های برشی پرداخته شده (نمونه SB2) و نتایج

جدول ۵- نتایج خروجی در نمونه های SB1 و SL1

نمونه دال	نام گذاری	شکل و ابعاد بازشو (cm)	Max force (kg)	Max displacement (cm)	Max stress kg/cm ²
با بولت برشی	SB1	15×15 مربع	9363	2.82	5901
با بولت برشی	SL1	دایره ای	9363	1.435	5895



شکل ۲۵- نمودار بار - جابه جایی (در نمونه های SR1, SB1, SF1, ST1)



شکل ۲۶- مقایسه نمودار بار - جابه جایی (در نمونه های SB1 و SL1)

برای بررسی و مقایسه شکل‌پذیری نمونه‌ها و ظرفیت برشی آنها، در نقطه‌ای به فاصله ۱۰cm از باز شو و همچنین در نقطه‌ای از لبه دال، خیز محاسبه شده است. که در جداول (۶) تا (۸) مقادیر خیز به‌دست آمده در نمونه‌ها نشان داده شده است.

آن به نمونه SB1 (با بولت برشی) مقایسه شده است. شکل (۲۷) نحوه توزیع تنش در نمونه SB2 را نشان می‌دهد.

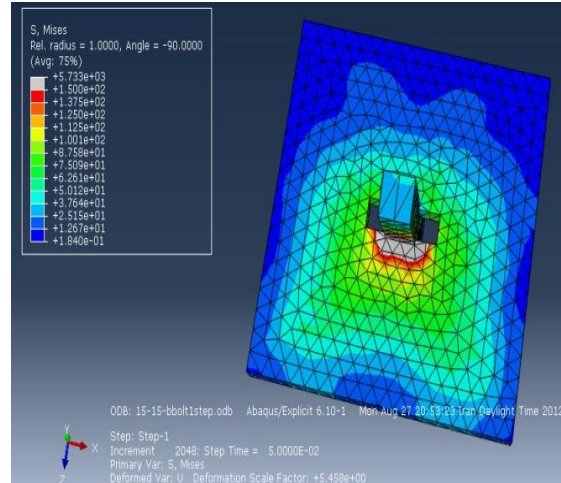
شکل‌های (۲۸) و (۲۹) مقایسه نمودارهای بار-جابجایی و شکل‌پذیری دال در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از بازو در نمونه‌های SB1, SB2 را نشان می‌دهد.

جدول ۹ - نتایج خروجی نمونه های با و بدون بولت برشی

نمونه دال	نام گذاری	ابعاد بازو (cm)	Max force (kg)	Max displacement (cm)	Max stress
بدون بولت برشی	SB2	15×15	9363	1.56	5733
با بولت برشی	SB1	15×15	9363	2.82	5901

جدول ۱۰ - نتایج خیز در نقاط مختلف دال در نمونه های با و بدون بولت برشی

نمونه دال	نام گذاری	ابعاد بازو (cm)	خیز دال در گوشه بازو	خیز دال در فاصله ۱۰ cm از بازو	خیز لبه دال در امتداد بازو
بدون بولت برشی	SB2	15×15	-0.16205	-0.09844	0.025115
با بولت برشی	SB1	15×15	-0.16158	-0.12017	0.027076



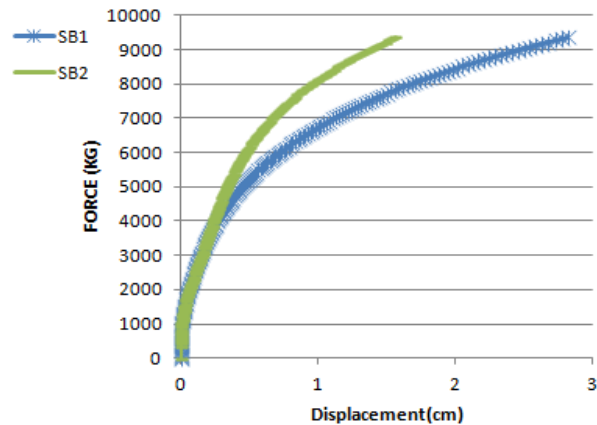
شکل ۲۷-توزیع تنش در نمونه SB2

با توجه به نتایج خروجی نشان داده شده در جداول (۹) و (۱۰) شکل پذیری نمونه با بولت برشی بیشتر از نمونه بدون بولت برشی و مقدار تنش تحمل شده توسط نمونه با بولت برشی نیز بیشتر از نمونه بدون بولت برشی است و در نتیجه دال نیز مقاوم‌تر خواهد بود.

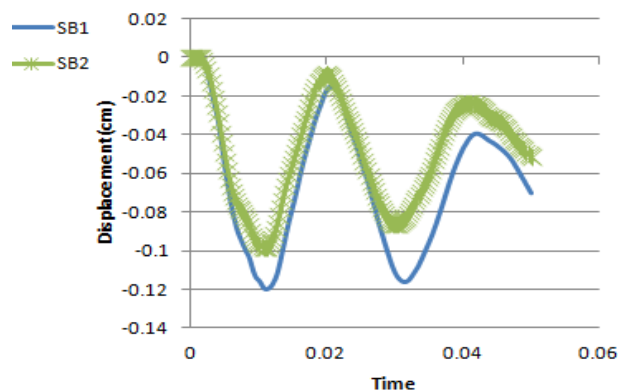
۷- نتیجه گیری

با توجه به نتایج خروجی و آنالیز مدل‌های مختلف نتایج زیر حاصل می‌شود:

- ۱- بولت‌های برشی در مقاومت بتن مسلح به خصوص در مناطق زلزله خیز موثر می‌باشند.
- ۲- بولت‌های برش مد شکست را از شکست پانچینگ به شکست نرم خمشی تبدیل می‌کنند.
- ۳- بازوها در دال‌های بتنی باعث کاهش ظرفیت برش پانچینگ در دال‌ها می‌شوند.
- ۴- شکل‌پذیری و مقاومت دال با بازو دایره‌ای شکل بیشتر از بازو مربعی شکل با مساحت یکسان می‌باشد.
- ۵- بازو مربعی شکل هر چقدر با ابعاد کوچکتر ساخته شود، مقاومت خمشی دال بیشتر خواهد بود.
- ۶- در صورت استفاده از بازو مستطیلی شکل به همراه بولت‌های برشی بهتر است که ضلع بزرگتر آن در جهت بولت‌ها ساخته شود.



شکل ۲۸-مقایسه نمودار بار-جابجایی در نمونه های SB1 و SB2



شکل ۲۹-مقایسه نمودار خیز دال در فاصله ۱۰ cm از بازو (در نمونه SB1 با بولت برشی و SB2 بدون بولت برشی)

مراجع و منابع

- [۱] کی نیا، امیر مسعود، (۱۳۸۹)، " آنالیز و طراحی سازه های بتن آرمه " انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، ویرایش بیست و یکم.
- [2] Bu W, Polak MA. (2005) ,"Seismic retrofit of RC slab-column connections using shear bolts. ACI Struct J ;106(4):514-22.
- [3] Adetifa ,Polak MA.(2005) "Retrofit of interior slab column connections for punching using shear bolts". ACI Struct J; 102(2): 268-74.
- [4] Robertson, I.N., and Durrani, A. J., (1992) "Gravity Load Effect on Seismic Behaviour of Interior Slab-Column Connections," ACI Structural Journal, Vol. 89, No.1, pp. 37-45.
- [5] Pan, A. D., Moehle, J.P., (1992) "An Experimental Study of Slab-Column Connections," ACI Structural Journal, Vol. 89, No.6 pp. 626-638.
- [6] Ebead, U., Mrzouk, H., (2002), "Strengthening of Two-Way Slabs Subjected to Moment and Cyclic Loading," ACI STRUCTURAL Journal, Vol. 99, No. 4, July-August, pp. 435-444
- [7] Stark,A.,Binici,B.,Bayrak,O., (2005) "Seismic Upgrade of Reinforced Concrete Slab-Column Connections Using Carbon Fiber-Reinforced Polymers, " ACI Structural Journal, Vol. 102, No.2, March-April, pp. 324-333.
- [۸] رحمانیان، سعید و ملکی، محمد، (۱۳۸۶)، " ABAQUS " نرم افزار اجزاء محدود، " انتشارات سیمای دانش.
- [۹] خلخالی، ابوالفضل، (۱۳۸۶)، "تحلیل اجزای محدود با کمک ABAQUS"، موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران.

جدول ۶- درصد کاهش حداکثر پاسخها در مدل هفت طبقه

<i>TMD Pos.</i>	<i>Reduction (%)</i>		
	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>XY</i>
<i>TMD4</i>	7.38	6.67	15.47
<i>TMDX</i>	11.00	-5.13	11.26
<i>TMDY</i>	4.32	13.87	12.89
<i>A1</i>	7.92	7.47	15.57
<i>A3</i>	6.98	4.61	14.34
<i>B2</i>	7.38	6.67	15.47
<i>C1</i>	6.98	4.61	14.34
<i>C3</i>	7.92	7.47	15.57

نسبی واقعی سازه، در حالت C3 اتفاق افتاده است. البته کاهش مربوط به حالت B2 نیز خیلی نزدیک به حالت C3 می‌باشد.

جدول (۶) میزان حداکثر کاهش تغییر مکان نسبی طبقات سازه، در جهات مختلف و برای حالات مختلف قرارگیری میراگرها را نشان می‌دهد. با توجه به جدول فوق بیشترین کاهش در حداکثر تغییر مکان

جدول ۷- درصد کاهش حداکثر پاسخها در مدل پانزده طبقه

<i>TMD Pos.</i>	<i>Reduction (%)</i>		
	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>XY</i>
<i>TMD4</i>	6.99	12.65	6.21
<i>TMDX</i>	13.12	7.13	6.45
<i>TMDY</i>	1.63	14.93	4.81
<i>A1</i>	7.42	11.96	5.87
<i>A3</i>	6.68	12.22	5.92
<i>B2</i>	6.99	12.65	6.21
<i>C1</i>	6.68	12.22	5.92
<i>C3</i>	7.42	11.96	5.87

گرفته‌اند. که برای سازه ۳ طبقه بیشترین کاهش در حداکثر تغییر مکان نسبی واقعی سازه، در حالت C3 اتفاق افتاده است. البته کاهش مربوط به حالت B2 نیز خیلی نزدیک به حالت C3 می‌باشد و می‌توان جهت حفظ تقارن سازه، این حالت را به عنوان بهترین حالت قرارگیری TMD در سازه سه طبقه در نظر گرفت.

برای مدل هفت طبقه بیشترین کاهش در حداکثر تغییر مکان نسبی واقعی سازه، همانند مدل سه طبقه در حالت C3 اتفاق افتاده است. البته کاهش مربوط به حالت B2 نیز خیلی نزدیک به حالت C3 می‌باشد. استفاده از حالت B2 در سازه از این نظر که تقارن سازه را به هم نمی-

در جدول (۷) میزان حداکثر کاهش تغییر مکان نسبی طبقات سازه، در جهات مختلف و برای حالات مختلف قرارگیری میراگرها برای مدل پانزده طبقه نشان داده شده است. با توجه به جدول فوق بیشترین کاهش در حداکثر تغییر مکان نسبی واقعی سازه، در حالت TMDX اتفاق افتاده است.

۸- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر، مدل‌های سازه‌ای ۳، ۷ و ۱۵ طبقه با حالات گوناگون قرارگیری میراگر جرمی تنظیم شده مورد بررسی قرار

3. Kaynia, A.M., Veneziano, D. and Biggs, J.M. 107, s.l.: ASCE, 1981. "Seismic effectiveness of tuned mass dampers", Journal of Structural Division, pp. 1465-484.
4. Frahm, H. 1911 "Device for damping vibration of bodies" U.S. Patent No. 989-958.
5. Jennige, R. L., Frohrib, D.A., 1977 "Alternative for steady state Vibration control Abserves Tuned Mech. Des, ASME, paper No. Structures" J of Tall, PP 1-7.77-DET-84.
6. Chung, L., Lai, Y., Yang, C., Lien, K., Wu, L., 2013, " Semi-active tuned mass damper with phase control" Journal of Sound and Vibration. PP3610-3625
7. Javadian Arzaghi, S., and Rofooei, F. R. Tarbiet Moddarres University, Tehran, Iran :s.n., 2006, "Investigating the Performance of 2 TMDs' in Controlling the Seismic Behavior of 3-D Structural Models". 7th International Conference on Civil Engineering.
8. "EC3. Design of Steel Structures: Part I-General Rules and Rules for Buildings", 1994.s.l.: Euro code edited draft. Vol. 1.
9. Silvia Mazzoni, Frank McKenna, Michael H. Scott, Gregory L. Fenves, et al, 2006, "OpenSees Command Language Manual".
10. Chopra, Anil K. 2007, "Dynamics of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering". Third Edition. s.l.: Prentice Hall.
11. Sadek, F., et al. 6, s.l.: John Wiley & Sons Ltd., 1996, "A Method of Estimating the Parameters of Tuned Mass Dampers for Seismic Applications", Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 26, pp. 617 – 635.
12. Soto-Brito R, Ruiz SE. 28, 1999, "Influence of ground motion intensity on the effectiveness of tuned mass dampers", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, pp. 1255–71.

زند، در اولویت قرار دارد و بنابراین می‌توان گفت در این حالت بهترین موقعیت قرارگیری TMD، حالت B2 می‌باشد. به علت تقارن موجود در سازه، انتظار می‌رود که عملکرد TMDها در موقعیت‌های متقارن نسبت به مرکز جرم که منطبق بر مرکز سطح است، دقیقاً با یکدیگر برابر باشد که در جدول (۶) مشاهده می‌شود عملکرد TMDها در موقعیت‌های A1 و C3 با یکدیگر و C1 و A3 با یکدیگر یکسان هستند. همچنین با توجه به نوع طراحی TMDها در حالت استفاده از چهار TMD انتظار می‌رود که عملکرد این TMDها دقیقاً همانند حالت استفاده از دو TMD در موقعیت B2 باشد که در جدول (۶) کاملاً مشهود است.

در سازه پانزده طبقه بیشترین کاهش در حداکثر تغییر مکان نسبی واقعی سازه، در حالت TMDX اتفاق افتاده است. البته کاهش مربوط به حالت B2 نیز خیلی نزدیک به حالت TMDX می‌باشد و می‌توان جهت حفظ تقارن سازه، این حالت را به عنوان بهترین حالت قرارگیری TMD در سازه پانزده طبقه خطی بدون خروج از مرکزیت در نظر گرفت.

بدیهی است نتیجه‌گیری‌های انجام شده تنها با استفاده از مدل‌های محدود سازه‌ای و نیز یک گروه محدود از رکوردهای زلزله صورت گرفته است و با توجه به دخیل بودن پارامترهای مختلفی چون نوع طراحی سازه‌ها، محتوای فرکانسی رکوردهای زلزله و ... می‌توان انتظار تغییر در نتایج گرفته شده را داشت.

۹- مراجع

1. T.T. Soong, G.F. Dargush, 1997, "Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering", New York: John Wiley & Sons., 0-471-96821-8.
2. Sladek JR, Klingner RE. 8, s.l.: ASCE, 1983, "Effect of tuned-mass dampers on seismic response". Structural Engineering, Vol. 109, pp.

Numerical Study of the Position and Dimensions of the Openings on the Seismic Ductility of the Reinforced Concrete Slab - Column Connections Having Flexural Reinforcing and Shear Bolts

M. lotfollahi Yaghin

Professor, Department of civil Engineering Tabriz University, Tabriz, Iran

N. motazakker

Department of civil Engineering, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran

ABSTRACT

Concrete slabs are of the main components of the concrete structures. Implementing flat slab is more simple and economic than other ones owing to its ease of formatting. Furthermore, the flat slabs mostly utilized in the buildings with relatively irregular plans of flat slab- column structures. Unfortunately, the typical structures are ready to punching are prone to shear failure, but such shear brittle failure can be controlled by reinforcing the shear. Shear bolts is a shear strengthening method the influence of which on the slabs has been investigated in the present study. In practical situations, it is often necessary to create openings in slab to allow electrical, water or air conditioning ducts to go through floors. The existence of openings and their form along with their dimensions and slab-column connections impact the strength and ductility of the slabs. These specimens were placed under vertical load and cyclic lateral loads. The vertical load for each specimen was kept and cyclic lateral load increased. When the peak tension created, displacement in different points of slab and ductility were compared among different specimens. The analysis results show that shear bolts can increase lateral peak load resisting capacity, the lateral drift capacity at peak load, and also the ductility of the slab-column connections. Shear bolts also change the failure mode of the slab-column connections. Shear bolts capacity of the slab resist the lateral loads increases. The square opening dimensions are smaller better and circular opening more ductility to square opening one with same space.

Keywords: Concrete slab, Opening, Shear bolts, Punching shear, Ductility