



بررسی رفتار غیر خطی دیوار برشی بتنی دارای بازشو به روش طراحی بر اساس سطح عملکرد

ناصر شابختی^۱، علی حشمتی سعادت^۲

1- استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه سیستان و بلوچستان، تلفن (0541) 2444591

پست الکترونیکی: shabakhty@yahoo.com

2- کارشناس ارشد سازه، تلفن 09151705260

پست الکترونیکی: ali.heshmati.s@gmail.com

خلاصه

یکی از انواع سیستمهای مقاوم در برابر زلزله سیستم دیوار برشی بتنی است که به دلیل عملکرد مناسب آن در زلزله های گذشته مورد توجه مهندسين قرار گرفته است. اما برخی محدودیتهای معماری مهندس محاسب را مجبور به تعبیه بازشو در دیوارهای برشی می نماید. خصوصاً در سازه های بلند دارای هسته مرکزی بتنی، پیرامون اتاق آسانسور محل مناسبی برای نصب دیوار برشی و متصل نمودن آنها در جهت عمود بر یکدیگر و ایجاد نمودن دیوار برشی بالدار می باشد اما به منظور تعبیه درب آسانسور ناچار به ایجاد بازشو در یکی از دیوارها می باشیم که این امر بر رفتار دیوار برشی تاثیرگذار خواهد بود. نسبت ابعاد بازشو و همچنین درصد آرماتور بکار رفته در دیوار از مهمترین عوامل تاثیرگذار بر رفتار غیرخطی دیوار برشی بتنی دارای بازشو می باشند که روشهای نوین طراحی بر اساس سطح عملکرد، امکان بررسی رفتار غیرخطی و شکل پذیری چنین سازه ای را بخوبی فراهم آورده است. در تحقیقات گذشته از تیرهای کوبله برای مدلسازی کامپیوتری بازشوها در دیوارهای برشی استفاده شده است، این تقریب خصوصاً برای بازشوهایی با ارتفاع کم خطای نسبتاً زیادی در پاسخهای سازه ایجاد می نماید. لذا برای رفع این نقیصه در تحقیق حاضر دیوار برشی بتنی بصورت یک صفحه دارای سوراخ مدل گردیده و تاثیر نسبت عرض بازشو به عرض دیوار و نسبت ارتفاع بازشو به ارتفاع دیوار بر رفتار غیرخطی سازه، به ازاء درصد آرماتورهای مختلف، به روش طراحی بر اساس سطح عملکرد مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: دیوار برشی دارای بازشو، تیر کوبله، دیوار کوبله، طراحی بر اساس سطح عملکرد

مقدمه

احداث دیوار های برشی چه در ساختمانهای بلند و چه متوسط وحتى در ساختمانهای کوتاه موجب می شود که مقاومت ساختمان بطور قابل توجهی افزایش یابد و در مقایسه با ساختن قابهای خمشی اقتصادی تر خواهد بود و بهترین شیوه برای کنترل خیز جانبی ساختمانها می باشد. امروزه بخوبی می توان از دیوارهای برشی در کنار قابهای خمشی به نحوی استفاده کرد که رفتار مجموعه سازه نرم، مقاوم و شکل پذیر باشد. در غالب موارد دیوارهای برشی قادرند بیشترین سهم نیروی برش پایه را تحمل کنند که موجب افزایش چشمگیر سختی ساختمان و کاهش قابل ملاحظه خسارت به عناصر غیرسازه ای می گردند و همچنین دیوارهای برشی قادرند حتی پس از پذیرش ترکهای زیاد، بارهای ثقلی ساختمان را تحمل کنند که ستونها فاقد چنین خاصیتی هستند و در کل چنین عواملی دیوارهای برشی را قابل اطمینان تر از قابهای خمشی ساخته است. تحقیقات نشان داده است که در صورت اجرای صحیح و آرماتورگذاری کافی، شکل پذیری مناسبی از خود نشان می دهند. در دیوارهای برشی دارای بازشو اگر دیوار در پایین ترین قسمت خود دارای یک یا چند بازشو باشد هر یک از اجزاء دیوار در طرفین بازشو را پایه های دیواری و بخشی از دیوار که بین بازشوی بالایی و پایینی واقع می شود را تیر همبند یا کوبله می نامند. [1]

Zhao و همکاران [4] به بررسی تاثیر ارتفاع تیر کوبله و درصد آرماتور برشی آن در آزمایشگاه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تیرهای کوبله با نسبت دهانه به ضخامت کمتر از 2 شبیه تیرهای عمیق رفتار می کنند و در برش دچار شکست می شوند. همچنین به این نتیجه رسیدند که تیرهای

¹ استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه سیستان و بلوچستان

² دانشجوی کارشناسی ارشد سازه



کوپله با درصد آرماتور برشی کمتر دچار گسیختگی برشی-کششی می شوند اما نمونه های با آرماتور برشی بیشتر، اغلب دچار گسیختگی لغزشی- برشی می شوند و دارای شکستی ترد هستند.

Paulay به بررسی شکل پذیری دیوارهای کوپله پرداخت [5] و به این نتیجه رسید که دیوارهای کوپله محاسن ویژه ای دارند که عبارتند از:

- کنترل تغییر مکان بسیار عالی دارند.
 - یک سیستم کوپله قوی، امکان استفاده از دیوارهای لاغر بدون به خطر انداختن حدود مجاز تغییر شکل نسبی طبقات را فراهم می نماید.
 - حدود تغییر شکله در خلال یک پاسخ شکل پذیر، متأثر از مدهای دینامیکی بالاتر نمی باشد.
 - با یک آرماتورگذاری مناسب و کافی، میرایی هیسترتیک بزرگتری نسبت به ساختمانهای سنتی با دیوار برشی از خود نشان می دهد.
- صفاری و قهرمانی [3] به این نتیجه رسیدند که افزایش ارتفاع تیر کوپله باعث افزایش مقاومت نهایی می گردد اما در صورتیکه ارتفاع تیر کوپله بیش از حدود 33٪ ارتفاع طبقه گردد، تاثیر زیادی در مقاومت نهایی دیوار ندارد و شکل پذیری را نیز کاهش می دهد.

هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر بازشوها و همچنین تاثیر میزان آرماتورگذاری، بر رفتار غیرخطی و سطح عملکرد دیوارهای برشی می باشد. یک ساختمان 8 طبقه با سیستم دیوار برشی دارای بازشو مورد تحلیل غیر خطی قرار گرفته و رفتار غیر ارتجاعی و سطح عملکرد آن بررسی شده است. پس از آن سازه های 4 و 8 و 12 طبقه با شرایط بارگذاری مشابه ساختمان اجرا شده و با حداقل و حداکثر آرماتور ذکر شده در آیین نامه، به منظور بررسی تاثیر میزان آرماتورگذاری بر رفتار غیرخطی و سطح عملکرد سازه ها و کنترل ارضای نیازهای آیین نامه، مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه نحوه تعیین نقطه عملکرد سازه به روش ضرایب تغییر مکان بیان شده است و سپس رفتار غیر الاستیک دیوارهای برشی مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت کلیات طرح و مشخصات مدل های مورد استفاده در این مقاله و نتایج نهایی مربوط به هر مدل در انتها ارائه گردیده است.

تعیین نقطه عملکرد سازه به روش ضرایب تغییر مکان:

تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی روش موثری برای ارزیابی عملکرد سازه ها در هنگام زلزله می باشد [9]. در این روش، سازه طرح شده تحت الگوی بارگذاری جانبی مشخصی قرار می گیرد و بارهای جانبی تا رسیدن سازه به تغییر شکل نهایی به طور تدریجی افزایش می یابد. با استفاده از این روش منحنی برش پایه در برابر تغییر مکان جانبی بام سازه رسم می گردد که به آن منحنی ظرفیت سازه می گویند، در نهایت با توجه به نتایج به دست آمده از منحنی ها، ارزیابی هایی به منظور کنترل رفتار سازه در نقطه عملکرد³ تعیین شده برای آن سازه انجام می پذیرد.

بمنظور تعیین نقطه عملکرد سازه در این تحقیق از روش ضرایب تغییر مکان ذکر شده در دستورالعمل بهسازی لرزه ای ایران [2] و دستورالعمل ATC-40 [6] استفاده شده است. به این صورت که تغییر مکان نقطه ای روی بام به عنوان تغییر مکان هدف سازه در نظر گرفته می شود و مقدار این تغییر مکان توسط رابطه (1) محاسبه می گردد:

$$\delta_t = c_0 c_1 c_2 c_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (1)$$

که در آن:

C_0 ، ضریب اصلاحی برای تبدیل واکنش یک درجه آزاد به سیستم چند درجه آزاد

C_1 ، ضریب اصلاحی برای مرتبط ساختن حداکثر تغییر مکان غیر ارتجاعی سیستم، با تغییر مکان بدست آمده از طیف ارتجاعی خطی

C_2 ، ضریب اصلاحی جهت لحاظ نمودن تاثیر رفتار هیستریزس در تغییر مکان طیفی حداکثر سازه

C_3 ، ضریب اصلاحی برای منظور کردن تاثیرات مرتبه دوم ($P - \Delta$) می باشند. [2]

پس از بدست آوردن تغییر مکان هدف، کلیه اعضا سازه باید با معیارهای ذکر شده در دستورالعملهای مقاوم سازی نظیر دستورالعمل ATC-40 و یا FEMA [7] و یا دستورالعمل بهسازی لرزه ای ایران کنترل شوند که تا رسیدن به تغییر مکان هدف، ظرفیت اعضا از حدود بیان شده برای سطوح عملکرد مورد نظر فراتر نرفته باشند.

رفتار غیرالاستیک دیوار برشی:

تحقیقات انجام شده [4,5,8] بر روی دیوارهای برشی بتن مسلح نشان می دهد دیوارهایی که به حد کافی و به نحو مناسب آرماتورگذاری شده اند نسبت به دیوارهای با آرماتورگذاری کمتر، ترکها را در محدوده وسیعتری از سطح خود پخش کرده اند و اغلب این ترکها بسته هستند خصوصاً هنگامیکه فولادها به حد جاری شدن نرسیده باشند. همچنین مشخص شده که آرماتورگذاری پیرامون بازشوها، تاثیر مهمی بر ظرفیت دیوار برشی دارد. دیوارهای برشی دارای بازشو نیز چنانچه به نحو مناسبی طراحی و آرماتورگذاری شده باشند، رفتار شکل پذیر مناسب و خاصیت استهلاک انرژی بالایی دارند که به همین دلیل توصیه می شود تا حد امکان از آنها در ساختمانها استفاده شود [1]. این دیوارها در واقع مرکب از دو یا چند دیوار هستند که

³ -Performance Point

توسط تیرهای کوبله به یکدیگر متصل شده اند لذا باید نحوه تخریب هر دو قسمت بررسی شود. اغلب شکستهایی که در این دو قسمت، در سازه ها مشاهده شده عبارتند از:

1. شکست ناشی از شکست خود دیوارهای برشی:

در تخریبهای انجام شده در دیوارهای برشی طی زمینلرزه های گذشته مشخص شده که غالبا چهار نوع ضعف موجب چنین تخریب هایی می شوند (شکل 1) که باید در طراحی، آنها را شناسایی و تدابیر لازم جهت جلوگیری از آن اتخاذ نمود این تخریبها عبارتند از:

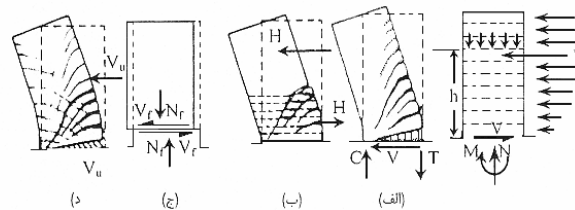
الف- تخریب خمشی

ب- تخریب برشی

ج- تخریب لغزندگی

د- تخریب چرخشی پایه شالوده

در تخریب خمشی، مفصل یا لولای خمیری در پای دیوار تشکیل می شود که محل حداکثر نیروی برشی نیز می باشد. منطقه اصلی مفصل خمیری در ارتفاعی است که به آن طول لولای خمیری می گویند. برای کنترل برش طول این ناحیه را معمولا بین یک تا یک و نیم برابر طول دیوار در نظر می گیرند. در تخریب ناشی از برش، ترکهای ناشی از خمش در منطقه مفصل پلاستیک در ضخامت و طول بزرگتر شده و سپس با ترکهای ناشی از کشش قطری ترکیب می شوند که نهایتا پس از چند تناوب، بتن دیگر قادر به تحمل برش نمی باشد و تمامی برش باید توسط آرماتورها تحمل شود. در تخریب لغزندگی، دیوار در جهت افقی دچار حرکت می شود که در محل درزهای اجرایی نیز اتفاق می افتد. تخریب ناشی از چرخش شالوده موجب بلند شدن فونداسیون می شود که از قدرت استهلاک انرژی به شدت می کاهد و موجب بوجود آمدن تخریبهای دیگر در سازه نیز می شود.



الف - تخریب خمشی ب - تخریب برشی ج - تخریب لغزندگی د - تخریب چرخش پایه یا شالوده

شکل 1 - انواع متداول تخریب در دیوارهای برشی [1]

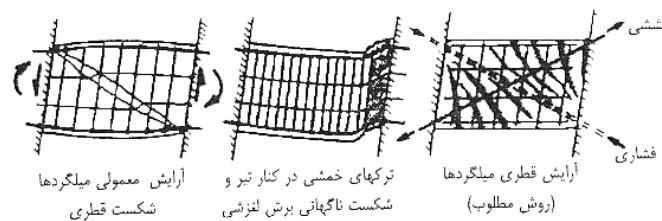
2. شکست ناشی از شکست تیرهای کوبله:

در واقع مهمترین ضعف در دیوارهای برشی دارای بازشو، تیرهای کوبله هستند. این تیرها دارای طولی کوتاه و عمقی زیاد هستند و اگر ضخامت آنها کم باشد، تبدیل به تیر عمیق می شوند که رفتار مطلوبی ندارند. تیرهای کوبله معمولا از دیوارها ضعیفترند و بر اثر حرکت جانبی-خمشی دیوارها، چرخش قابل ملاحظه ای در محل اتصال دیوارها به تیرها اعمال می گردد و همین چرخش موجب تولید لنگر قابل توجه و نهایتا جاری شدن مقاطع تیرها می شود. غالبا سه نوع تخریب در تیرهای کوبله مشاهده می شود (شکل 2)، که بترتیب عبارتند از:

الف- تخریب خمشی

ب- شکست کششی قطری

ج- شکست قطری فشاری و کششی



شکل 2 - انواع تخریب در تیرهای کوبله [1]

طراحی دیوارها باید به نحوی باشد که از تشکیل لولای خمیری (جاری شدن آرماتورها) مطمئن باشیم به نحویکه شکست قطری کششی که شکستی ترد است، نه در دیوار و نه در تیرهای کوبله رخ ندهد، و بطور کلی دیوارها به نحوی رفتار کنند که لولای خمیری ابتدا در تیرهای کوبله و سرانجام در دیوارها تشکیل شود.

**کلیات طرح و مشخصات مدل های مورد استفاده:**

در تحقیق حاضر از مشخصات مربوط به یک ساختمان 8 طبقه اجرا شده در شهرستان سبزوار استفاده شده است. سیستم مقاوم در برابر زلزله، دیوارهای برشی بتن آرمه بوده که در پیرامون آسانسورهای ساختمان قرار گرفته اند. به منظور تعبیه درب آسانسورها بازشوهایی منظم در دیوارهای برشی در نظر گرفته شده است. زمین محل احداث، از خاک نوع III می باشد. ضخامت دیوار 30 cm و نسبت آرماتورهای افقی و قائم $\rho = 0.0088$ ، طول دیوارهای برشی 3.0m و طول بازشوها 1.0 m ارتفاع بازشو 2.0 m و ارتفاع طبقات 3.0 m می باشد.

مشخصات مصالح بتن: وزن مخصوص بتن 2500 Kg/m^3 و مقاومت 28 روزه بتن $f_c = 250 \text{ Kg/Cm}^2$ و ضریب پواسون $\nu = 0.15$ پارامترهای مدلسازی خطی و غیرخطی توسط روابط آیین نامه آبا و دستورالعمل بهسازی لرزه ای ایران در نظر گرفته شده است.

مشخصات مصالح فولاد: مقدار مقاومت جاری شدن فولاد $f_y = 4000 \text{ Kg/Cm}^2$ و مدول الاستیسیته فولاد $E = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/Cm}^2$ در نظر گرفته شده است.

برای مدلسازی دیوار از نرم افزار "CSI perform-3D" استفاده شده است و در مدلسازی سختی و مقاومت مصالح، منحنی سه خطی با کاهش مقاومت نهایی بکار گرفته شده است. همچنین این نرم افزار قابلیت آن را دارد که تاثیر ترک خوردگی بتن در خمش و برش و خردشدگی آن در فشار و همچنین جاری شدن آرماتورها را نیز لحاظ می نماید.

پس از بررسی سازه اجرا شده، جهت مطالعه تاثیر میزان آرماتورگذاری بر رفتار غیرخطی و سطح عملکرد دیوارهای دارای بازشو، و کنترل تطبیق نیازهای لرزه ای آیین نامه ایران با مقادیر آرماتور ذکر شده در آن، سازه هایی با دیوارهای 4 و 8 و 12 طبقه با بارگذاری و شرایط مشابه سازه اجرا شده، با درصد آرماتور حداقل و حداکثر ذکر شده در آیین نامه طرح و اجرای ساختمانهای بتن آرمه ایران "آبا" مدلسازی و تحلیل گردیده است. درصدهای نسبی آرماتورهای در نظر گرفته شده در دیوارهای برشی عبارتند از:

$$\rho_{v,\min} = 0.0012 \text{ در دیوار قائم در دیوار برشی:}$$

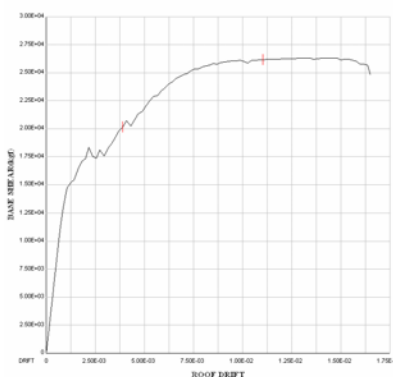
$$\rho_{h,\min} = 0.002 \text{ در دیوار برشی:}$$

$$\rho_{\max} = 0.2 \text{ حداکثرنسبت آرماتور در دیوار برشی:}$$

برای توزیع بار جانبی در ارتفاع سازه، از الگوی بارگذاری مثلثی ذکر شده در دستورالعمل بهسازی لرزه ای ایران استفاده شده است و به کمک تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی (push over) منحنی ظرفیت سازه بدست آمده است. سپس به کمک روش ضرایب تغییرمکان، تغییرمکان هدف آنها محاسبه و مقادیر دوران در تیر های کوبله و پای دیوار با مقادیر ذکر شده در دستورالعمل بهسازی لرزه ای ایران کنترل گشته است. همچنین جهت بررسی عملکرد کل سازه، تغییر شکل نسبی کلی طبقات با مقدار ارایه گردیده در دستورالعمل ATC-40 کنترل شده است.

نمونه اول: ساختمان 8 طبقه اجرا شده:

در این بخش به مطالعه یک نمونه از ساختمان 8 طبقه اجرا شده می پردازیم. در این ساختمان از قاب فولادی ساده جهت انتقال بار قائم استفاده شده است. سیستم مقاوم در برابر زلزله، دیوارهای برشی پیرامون آسانسور هستند که ابعاد بازشو و مشخصات مصالح آن در بالا ذکر شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که در برش پایه 20.2 ton و تغییرمکان 9.4 cm اولین آرماتور کششی جاری شده و در محل بیرونی ترین تار فشاری نیز، مصالح بتنی دچار اندکی خرد شدگی شده است. در برش پایه 25.4 ton و تغییرمکان 18.6 cm اولین آرماتور فشاری، در پایه فشاری جاری شده است. از این نقطه به بعد جاری شدن آرماتورهای کششی و خرد شدگی بتن فشاری بطور ناگهانی افزایش می یابد و در برش پایه 26.1 ton و تغییرمکان 26.4 cm شکست برشی در پایه دیوار رخ می دهد و دیوار منهدم شده است (شکل 3 را ببینید). تیرهای کوبله صدمه ای ندیده اند و تنش کششی زیاد در تراز پی و تراز سقف طبقه اول، عامل اصلی تخریب دیوار و نقطه ضعف سازه می باشد. تغییرمکان هدف $\delta_t = 10.3 \text{ cm}$ محاسبه شده است که در این تغییرمکان، عملکرد کلی سازه و همچنین دوران کلیه تیرهای کوبله در سطح ایمنی جانی LS قرار دارند.



شکل 3 – منحنی ظرفیت نمونه اول



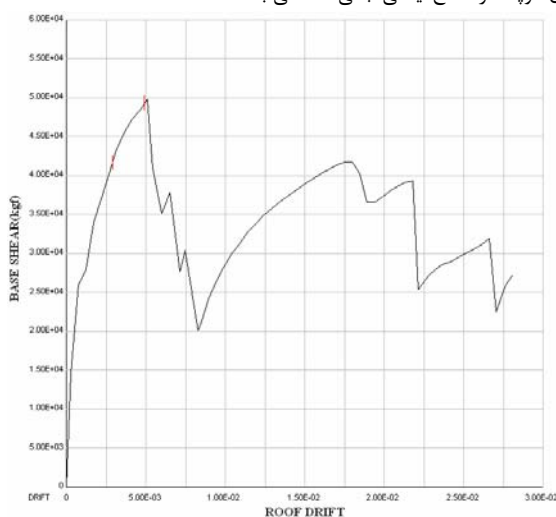
در ادامه مقاله، تحقیقات انجام شده بر روی دیوهای برشی با حداقل و حداکثر آرماتور ذکر شده در آیین نامه مورد بررسی قرار می گیرد که ضخامت دیوارها، ابعاد بازشوها، بارگذاری و مشخصات کلیه مصالح مشابه ساختمان 8 طبقه اجرا شده که در بالا ذکر گردید می باشد.

نمونه دوم: ساختمان 4 طبقه با نسبت آرماتور حداقل:

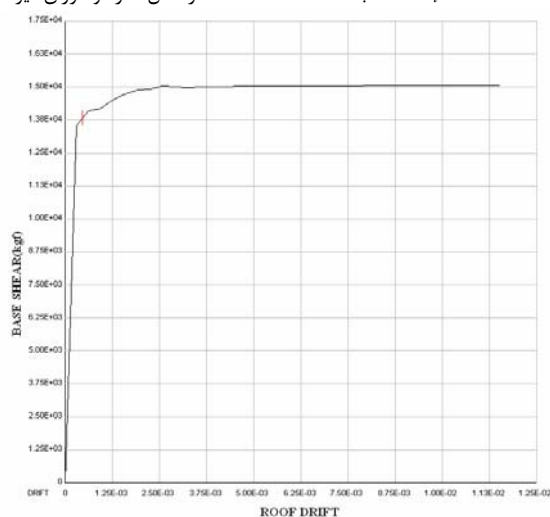
در این بخش یک ساختمان 4 طبقه با تمام ویژگیهای ساختمان 8 طبقه ذکر شده در بخش قبل در نظر گرفته شده و مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان می دهد در برش پایه 13.8 ton و تغییر مکان 0.55cm آرماتور طولی در کشش به حد جاری شدن رسیده است و در برش پایه 15ton و تغییرمکان 4.44cm ترک خوردگی بتن در پایه دیوار و جاری شدن آرماتورهای کششی بطورناگهانی افزایش یافته و تا انهدام دیوار پیش می رود (شکل 4 را ببینید). تیرهای کوبله صدمه ای ندیده اند و تنش کششی زیاد در تراز پی موجب تخریب دیوار گشته است. تغییرمکان هدف $\delta_t = 4.0$ cm محاسبه شده است که در این تغییرمکان، عملکرد کلی سازه و همچنین دوران تیرهای کوبله بحرانی (تیر طبقه اول) در سطح ایمنی جانی LS قرار دارند.

نمونه سوم: ساختمان 4 طبقه با نسبت آرماتور حداکثر:

این ساختمان همانند ساختمان نمونه دوم بوده و تنها از نسبت آرماتور حداکثر استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که در برش پایه 42.3 ton و تغییرمکان 3.57 cm اولین آرماتور کششی جاری شده است، در برش پایه 50 ton و تغییرمکان 6.4 cm تیرهای کوبله در طبقات اول و دوم دچار شکست برشی می شوند و منحنی ظرفیت با یک افت، تا برش پایه 20 ton و تغییرمکان 9.9 cm که در آن تمام تیرهای کوبله دچار شکست شده اند پایین می آید و پس از آن سازه تا انهدام نهایی دیوار که به دلیل کشش زیاد در پایه دیوار رخ می دهد، مقاومت می کند (شکل 5). مقدار تغییرمکان هدف $\delta_t = 4.1$ cm محاسبه شده است که عملکرد کل سازه و دوران تیرهای کوبله در سطح ایمنی جانی LS می باشد



شکل 5- منحنی ظرفیت نمونه سوم



شکل 4- منحنی ظرفیت نمونه دوم

نمونه چهارم: ساختمان 8 طبقه با نسبت آرماتور حداقل:

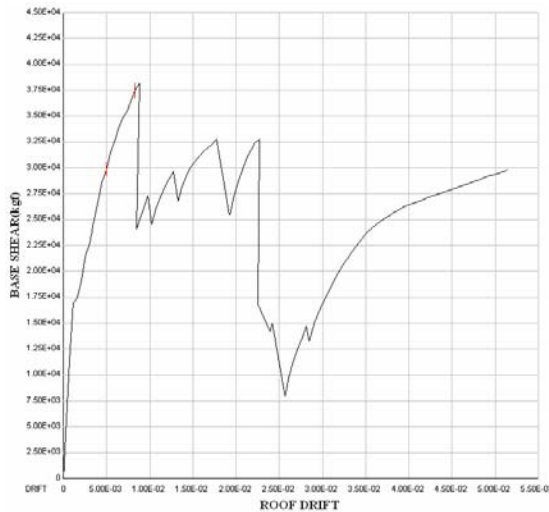
در این بخش همان ساختمان 8 طبقه اجرا شده با نسبت آرماتورهای حد اقل مد نظر می باشد. نتایج طیف ظرفیت نشان می دهد که در برش پایه 10.5ton و تغییر مکان 2.0 cm آرماتور طولی در کشش به حد جاری شدن رسیده است و در برش پایه 12.5 ton و تغییرمکان 6.8cm ترک خوردگی بتن پایه و جاری شدن آرماتورهای کششی بطورناگهانی افزایش یافته و تا انهدام دیوار پیش می رود (شکل 6 را ببینید). تیرهای کوبله صدمه ای ندیده اند و تنش کششی زیاد در تراز پی و تراز سقف طبقه اول موجب شکست و تخریب دیوار گشته است. تغییرمکان هدف $\delta_t = 10.0$ cm محاسبه شده است که در این تغییرمکان، عملکرد کلی سازه و همچنین دوران تیرهای کوبله بحرانی در سطح ایمنی جانی LS قرار دارند.

نمونه پنجم: ساختمان 8 طبقه با نسبت آرماتور حداکثر:

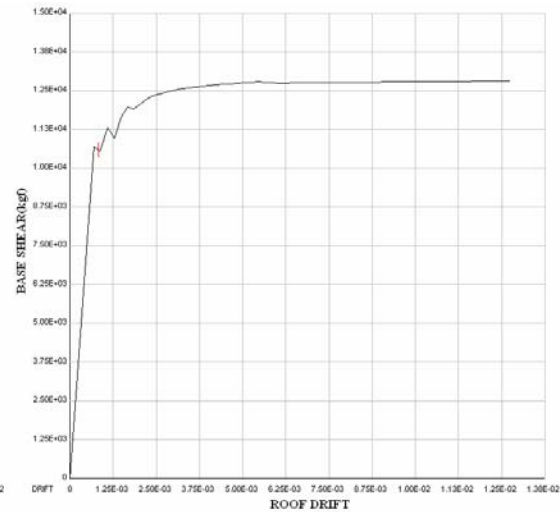
این ساختمان همانند ساختمان نمونه سوم بوده و تنها از نسبت آرماتور حداکثر استفاده شده است. نتایج بررسی طیف ظرفیت (شکل 7 را ببینید) نشان می دهد که در برش پایه 30.2 ton و تغییرمکان 12.3 cm اولین آرماتور کششی جاری شده است و اندکی خردشدگی بتن در بیرونی ترین تار فشاری رخ داده است. در برش پایه 38 ton و تغییرمکان 21.5 cm تیرهای کوبله در طبقات اول، دوم، سوم و چهارم دچار شکست برشی شدند. در



این نقطه یک افت در منحنی ظرفیت سازه ایجاد شده که به دلیل شکست تیرها بوده است و پس از آن منحنی به سمت بالا باز می گردد، در برش پایه 32.7ton و تغییرمکان 54.5cm تمامی تیرها دچار شکست می شود و یک افت شدید در منحنی ایجاد می شود، پس از آن شاهد افزایش مقاومت هستیم که ناشی از مقاومت دیوارها است و سازه تا تخریب نهایی دیوار که به دلیل جاری شدن آرماتور کششی در پایه کششی دیوار و خرد شدگی بتن پایه فشاری رخ می دهد مقاومت می کند. مقدار تغییرمکان هدف $\delta_f = 4.1\text{cm}$ محاسبه شده است که عملکرد کل سازه و دوران تیرهای کوبله و پایه ها در سطح ایمنی جانی LS می باشد.



شکل 7- منحنی ظرفیت نمونه پنجم



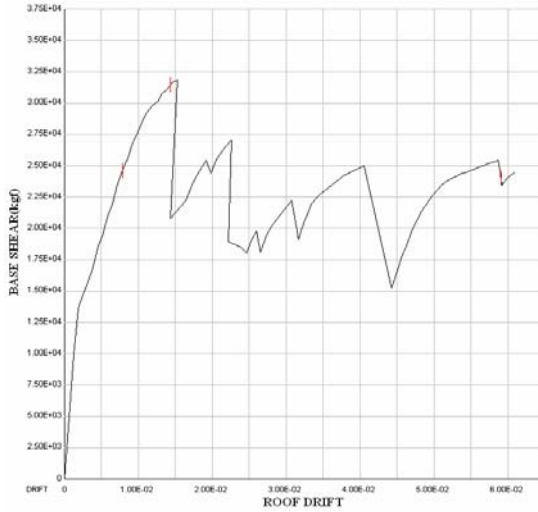
شکل 6- منحنی ظرفیت نمونه چهارم

نمونه ششم: ساختمان 12 طبقه با نسبت آرماتور حداقل:

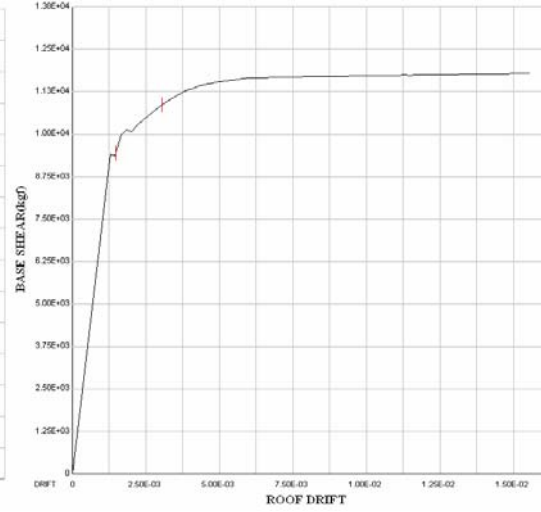
در این بخش یک ساختمان 12 طبقه با تمام ویژگیهای ساختمان 8 طبقه ذکر شده در بخش های قبل در نظر گرفته شده و مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج طیف ظرفیت این ساختمان نشان می دهد در برش پایه 9.5ton و تغییر مکان 5.4cm آرماتور طولی در کشش به حد جاری شدن رسیده است و در برش پایه 10.9ton و تغییرمکان 11cm آرماتور طولی در تیر کوبله طبقه اول جاری شده است. در برش پایه 11.7ton و تغییرمکان 23.1cm آرماتورهای فشاری پایه جاری شده اند و خرد شدگی بتن نیز اتفاق افتاده است، از این نقطه به بعد افزایش مقاومتی در دیوار مشاهده نمی شود و خرد شدگی بتن فشاری و جاری شدن آرماتورهای کششی افزایش یافته و تا انهدام دیوار پیش می رود (شکل 8 را ببینید). تیرهای کوبله صدمه ای ندیده اند و تنش کششی زیاد در تراز پی و تراز سقف طبقه اول موجب تخریب دیوار گشته است. تغییرمکان هدف $\delta_f = 13.9\text{cm}$ محاسبه شده است که در این تغییرمکان، عملکرد کلی سازه و همچنین دوران تیرهای کوبله بحرانی در سطح ایمنی جانی LS قرار دارند.

نمونه هفتم: ساختمان 12 طبقه با نسبت آرماتور حداکثر:

این ساختمان همانند ساختمان نمونه پنجم بوده و تنها از نسبت آرماتور حداکثر استفاده شده است. نتایج بررسی طیف ظرفیت (شکل 9 را ببینید) نشان می دهد که در برش پایه 24.5ton و تغییرمکان 28.15cm اولین آرماتور کششی جاری شده و اندکی خرد شدگی در بیرونی ترین تار فشاری بتن رخ داده است. در برش پایه 32ton و تغییرمکان 55.5cm تیرهای کوبله طبقات اول، تا ششم، دچار شکست برشی می شوند و یک افت شدید در منحنی ظرفیت ایجاد می شود منحنی دوباره به سمت بالا باز می گردد تا اینکه در برش پایه 25ton و تغییرمکان 145.6cm تمام تیرهای کوبله می شکنند و پس از آن سازه اندکی مقاومت می نماید و به دلیل کشش زیاد در پایه کششی و خرد شدگی پایه فشاری تا تخریب نهایی دیوار پیش می رود. مقدار تغییرمکان هدف $\delta_f = 17.7\text{cm}$ محاسبه شده است که عملکرد کل سازه و دوران تیرهای کوبله و پایه ها در سطح ایمنی جانی LS می باشد.



شکل 9- منحنی ظرفیت نمونه هفتم



شکل 8- منحنی ظرفیت نمونه ششم

نتیجه گیری

- 1- تغییرمکان نسبی بام سازه با مقادیر ذکر شده در ATC-40 مقایسه و دوران تیرهای کوبله بحرانی و پایه های دیوار، با مقادیر ذکر شده در دستورالعمل بهسازی لرزه ای ایران کنترل گردید و مشخص شد که عملکرد کلی و دوران تیرهای کوبله و پایه ها در محدوده ایمنی جانی LS قرار دارند.
- 2- میزان آرماتور طولی بکار رفته در دیوارها خصوصا در سازه های مرتفع، تاثیر مهمی بر مقاومت و شکل پذیری آنها دارد، بنحویکه دیوارهای با درصد آرماتور کمتر با افزایش برش پایه، سریعاً دچار شکست کششی در تراز پی و طبقات پایین می شوند ولی در دیوارهای با درصد آرماتور بیشتر، پایه ها بخوبی در مقابل کشش مقاومت می کنند تا اینکه تیرهای کوبله دچار شکست می شوند.
- 3- افزایش بار قائم روی دیوارها موجب می شود که پایه های دیوار در هنگام زمینلزه، دیرتر به حد جاری شدن برسند و این امر عملکرد غیرخطی دیوار را بهبود می بخشد.
- 4- ضعف اصلی در دیوارهایی که آرماتور طولی مناسبی دارند در تیرهای کوبله است که غالباً دچار شکست برشی- لغزشی می شوند و افزایش بیش از حد آرماتور برشی تاثیر قابل توجهی بر مقاومت برشی آنها نمی گذارد و موجب ترد شکنی نیز می شود.
- 5- چنانچه دیوارهای برشی دارای باز شو به نحوی طراحی شوند که تیرهای کوبله قبل از دیوارها جاری شوند، این تیرها نه تنها نقطه ضعف دیوارها نیستند بلکه در مقابل بارهای جانبی بزرگ، به منزله فیوز عمل می کنند و قبل از آنکه دیوار که وظیفه انتقال بار جانبی و قائم را دارد صدمه قابل توجهی ببیند می شکنند، که این خود موجب استهلاک انرژی زیاد و شکل پذیری بالاتر در حرکات رفت و برگشتی در طی زلزله می شود که ویژگی بسیار مطلوبی در رفتار سازه است.

مراجع

1. عباسعلی تسنیمی، رفتار و طرح لرزه ای ساختمانهای بتن مسلح، نشریه شماره ک-344، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، 1380
2. دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، خرداد 1381
3. حامد صفاری، کامران قهرمانی، بررسی تاثیر آرایش فولادگذاری در مقاومت نهایی و شکل پذیری دیوارهای برشی کوبله مسلح، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان
4. Z.Z. Zhao, A.K.H. Kwan, X.G. He, Nonlinear finite element analysis of deep reinforced concrete coupling beams. *Engineering structures*, 24 (2004) 13-25
5. Tom Paulay (2002) The displacement capacity of reinforced concrete coupled walls. *Engineering structures*, 24 (2002) 1165-1175.
6. Applied Technology Council, "Seismic Evaluation and retrofit of Concrete Buildings", (ATC-40), 1996.
7. FEMA 273 (Federal Emergency Management Agency), Techniques for Seismically Rehabilitation Existing Building, March 1997.



8. P.A. Hidalgo, R.M. Martines, An analytical model to predict the inelastic seismic behavior of shear-wall, reinforced concrete structures. *Engineering structures*, 24 (2002) 85-98
9. Tjen N. Tjhin., Mark A. Aschheim, John W. Wallace , Yield displacement-based seismic design of RC wall buildings. *Engineering structures*, October (2006)