

بررسی عملکرد لرزه‌ای قاب‌های خمشی بتن مسلح تقویت شده به وسیله میراگرهای فلزی جعبه‌ای شکل (BSD)

محمد رضا شیرین کام
دانشجوی دکتری سازه، دانشگاه گیلان، رشت.
جواد رزاقی لنگرودی*
استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت.

چکیده

یکی از راه‌های افزایش شکل‌پذیری و جلوگیری از توزیع خسارات لرزه‌ای در کل سازه، استفاده از میراگرها می‌باشد. میراگر فولادی جعبه‌ای شکل (BSD) یک نوع جدید از میراگرهای جاری شونده است که به تازگی معرفی شده است. پارامترهای متنوع هندسی موجود در این میراگر به طراح اجازه می‌دهد تا به راحتی مشخصات میراگر مورد نیاز جهت اتلاف انرژی لرزه‌ای در سازه را انتخاب نماید. تولید میراگرهای فلزی به تکنولوژی بالایی نیاز ندارد. از این رو در کشور ما استفاده از این روش نسبت به روش‌های دیگر، همانند جداساز لرزه‌ای و میراگرهای ویسکوز، ارزان‌تر و دست‌یافتنی‌تر است. در این پژوهش میراگر BSD در ترکیب با قاب خمشی بتن آرمه با شکل‌پذیری متوسط مورد بررسی قرار گرفته است. ۲۲ مدل که ۲۰ مدل از آنها شامل استفاده از میراگر مذکور در دو حالت استقرار مختلف در قابهای ۶ و ۹ طبقه است، با استفاده از تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی بررسی شده و پاسخ‌های لرزه‌ای از قبیل تغییر مکان هدف، برش پایه، بیشترین تغییر مکان درون طبقه و ضریب رفتار مقایسه شده‌اند. نتایج حاصله نشان می‌دهند که استفاده از میراگر BSD تغییر مکان هدف و بیشترین تغییر مکان درون طبقه را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. در قاب‌های ۶ و ۹ طبقه، بیشترین میزان کاهش تغییر مکان هدف به ترتیب ۴۲ و ۳۶ درصد مشاهده می‌گردد. همچنین متوسط ضریب رفتار محاسبه شده در مدل‌ها حداقل ۲۰٪ بیشتر از مقدار آیین‌نامه‌ای در قابهای خمشی بتن آرمه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: میراگر جعبه‌ای شکل (BSD)، میراگر جاری شونده، ضریب رفتار، عملکرد لرزه‌ای، قاب خمشی بتن آرمه.

* نویسنده مسئول: javadr@guilan.ac.ir

۱- مقدمه

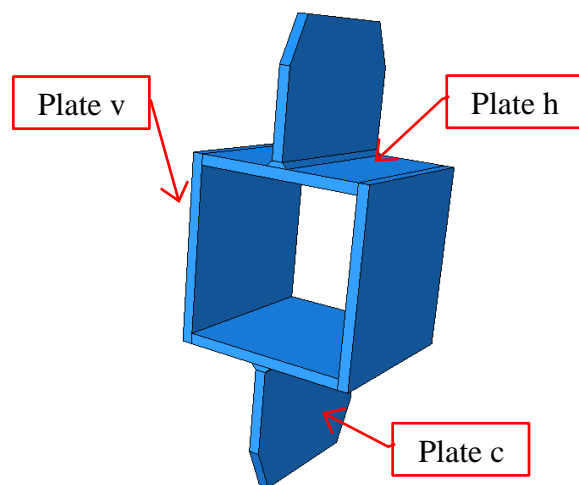
میراگر می تواند یک حلقه هیستریزیس پایدار و عریض ایجاد نماید [۲۳-۲۸].

میراگر فلزی جدید جعبه‌ای شکل (BSD) از یک جعبه شامل چهار ورق فولادی ساخته می شود. مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی نشان داده است که این میراگر می تواند جذب انرژی خوبی ایجاد نماید. همچنین تنوع پارامترهای کنترلی در آن توانایی تنظیم میراگر را بسیار افزایش داده است [۲۹ و ۳۰].

در این پژوهش ابتدا میراگر BSD و روش های استقرار میراگر در سازه مورد بررسی قرار گرفته است. پس از آن میراگرهای انتخابی و مدل های مورد بررسی تعریف شده اند. در ادامه نتایج تحلیل در ۲۲ مدل مورد ارزیابی ارائه و مقایسه گردیده و ضرایب رفتار در تمام مدل ها محاسبه شده است. در پایان نتایج حاصله از این پژوهش ارائه گردیده است.

۲- معرفی میراگر BSD

میراگر جعبه‌ای شکل (BSD) از چهار ورق فولادی شکل پذیر ساخته شده است. برای اتصال این میراگر به مهاربندها دو ورق اتصال در طرفین آن قرار گرفته است (شکل ۱)



شکل ۱- طرح کلی میراگر BSD

ورق های سر (Plate h)، ورق های کنار (Plate v) و ورق های اتصال (Plate c) با جوش شیاری با نفوذ کامل به همراه جوش گوشه تقویتی به یکدیگر متصل شده اند. مطابق شکل ۲ کشش و

شکل پذیری یکی از مهم ترین پارامترهای طراحی لرزه ایاست. برای دست یابی به شکل پذیری بیشتر، همواره ایجاد خرابی های کنترل شده در زلزله، مد نظر آیین نامه های لرزه ای بوده است. این خسارت ها می توانند در سراسر سازه ایجاد گردد. پس از یک زلزله شدید، در سازه های متعارف احتمالاً توزیع خرابی ها را در سراسر سازه می توان مشاهده کرد. روش دیگر تأمین شکل پذیری، استفاده از میراگرها همانند یک فیوزاست. در دهه های اخیر سیستم های جداساز لرزه ای [۲۱ و ۲۰] و سیستم های جاذب انرژی توسعه زیادی یافته اند. به طور خلاصه سیستم های شامل میراگر و یا جاذب انرژی را می توان به این صورت دسته بندی نمود: الف) سیستم های کنترل کننده تغییر مکان (مانند: میراگرهای جاری شونده [۳ و ۴] و میراگرهای اصطکاکی [۵] ب) سیستم های کنترل کننده سرعت (مانند: میراگرهای ویسکوز و ویسکوالاستیک [۶-۹] پ) سیستم های کنترل کننده حرکت (مانند: میراگرهای جرم و مایع تنظیم شده [۱۰ و ۱۱])

در دهه های اخیر، انواع مختلف میراگرهای جاری شونده به وسیله محققین معرفی شده اند. اولین تحقیقات روی میراگرهای جاری شونده به دهه ۱۹۷۰ بر می گردد [۱۲ و ۱۳]. در تمام این نوع میراگرها با وارد کردن فولاد به مرحله جاری شدن، موجبات جذب انرژی را فراهم نموده اند. مزیت این میراگرها، افزایش شکل پذیری و تمرکز خسارت در میراگرها، بجای کل سازه، است. در ذیل برخی از میراگرهای جاری شونده مورد بررسی قرار گرفته است:

میراگر فلزی مثلثی شکل^۱ از تعدادی ورق فولادی مثلثی شکل ساخته می شوند که مابین تیر تراز طبقه و یک مهاربند شون قرار دارند. حرکات جانبی باعث ایجاد تغییر شکل های پلاستیک در سراسر طول ورق ها می گردد. این سیستم دارای ضریب رفتار بیشتری نسبت به سیستم های قاب خمشی است [۱۴-۱۸].

مهاربند کمانش تاب^۲ از یک هسته فولادی و یک غلاف ساخته می شود. غلاف از کمانش هسته جلوگیری می کند و اتلاف انرژی در کشش و فشار در هسته ایجاد می گردد [۱۹-۲۲].

میراگر حلقه فولادی از یک حلقه فولادی که در مسیر مهاربند قطری قرار دارد ساخته می شود. تحقیقات نشان داده است که این

³ Box-Shaped Damper

¹ TADAS

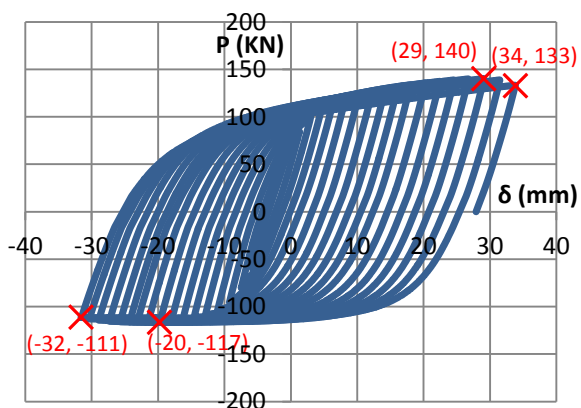
² BRB

بررسی عملکرد لرزه‌ای قاب‌های خمشی بتن مسلح ...

پس از آن تغییر شکل های پلاستیک در تمام ارتفاع ورق ۷ به وجود می‌آید. در مرجع [۲۹] روابطی جهت محاسبه ظرفیت BSD در مراحل مختلف بارگذاری ارائه گردیده است. با تغییر ابعاد، ضخامت و جنس ورق‌ها می‌توان سطوح مختلف ظرفیت را از BSD انتظار داشت. این مسئله به طراح کمک می‌کند تا به راحتی مشخصات مورد نیاز را با تنظیم مشخصات BSD به دست آورد.



شکل ۴- BSD متصل به دستگاه آزمایش

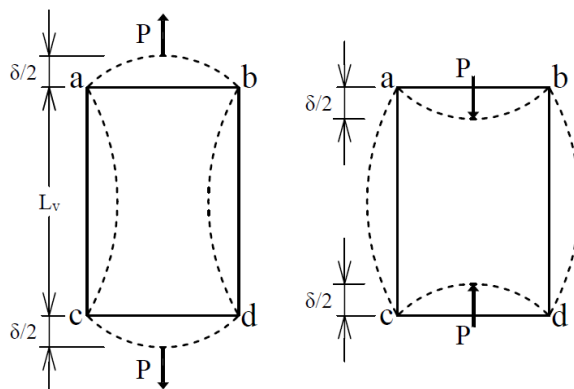


شکل ۵- منحنی هیستریزس BSD تحت آزمایش سیکلی.

۳- موقعیت استقرار میراگر در سازه

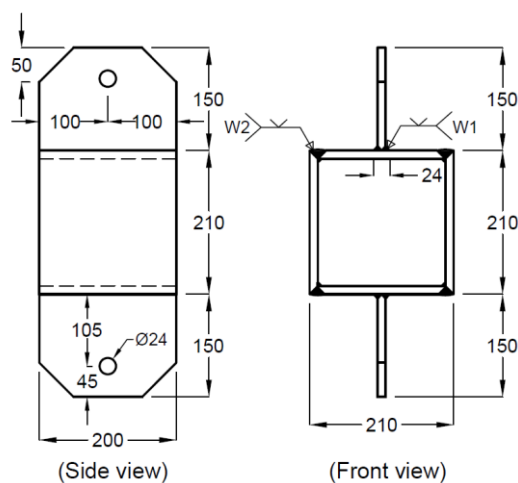
معمولاً میراگرها را با استفاده از سیستم‌های مهاربندی در قاب‌ها جاسازی می‌نمایند. مهاربندهای قطری و شورن پرکاربردترین نوع

فشار در ورق‌های اتصال باعث ایجاد تغییر شکل‌های خمشی در اعضای BSD می‌گردد.



شکل ۲- تغییر شکل‌های خمشی در اعضای BSD

برای بررسی رفتار لرزه‌ای BSD یک مطالعه آزمایشگاهی توسط نویسندگان این مقاله انجام شده است [۲۹]. در این پژوهش یک نمونه BSD با مشخصات ارائه شده در شکل ۳ تحت بارگذاری رفت و برگشتی مورد آزمایش قرار گرفت. شکل ۴ نمونه مورد نظر را که به دستگاه بارگذاری متصل است نشان می‌دهد.



شکل ۳- مشخصات میراگر BSD آزمایش شده

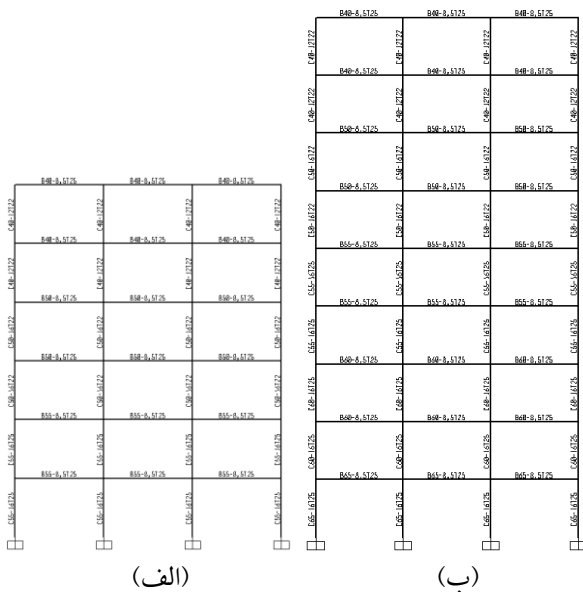
آزمایش‌ها نشان می‌دهند که BSD دارای منحنی هیستریزس عریض است و در کشش و فشار تقریباً دارای رفتار مشابهی است (شکل ۵).

مطالعات تحلیلی انجام شده روی رفتار BSD نشان می‌دهد که می‌توان تغییر شکل‌های ایجاد شده در آن را در دو محدوده الاستیک و غیر الاستیک مورد بررسی قرار داد [۲۹]. در محدوده پلاستیک ابتدا مفصل پلاستیک در وسط ورق h ایجاد می‌گردد.

$$f_U = \frac{\sin \theta_2}{\cos(\theta_1 + \theta_2) + \sin \theta_4} \cos(\theta_4 - \theta_1) \quad (2)$$

۴- مشخصات قاب‌های مورد ارزیابی

در این پژوهش دو قاب بتن آرمه دوبعدی ۶ و ۹ طبقه (شکل ۷) مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. هر قاب دارای ۳ دهانه به طول ۵ متر و ارتفاع طبقات برابر ۳/۳ متر است. عرض بارگیر هر قاب ۶ می‌باشد و بار مرده و زنده هر طبقه به ترتیب برابر ۶۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع است. بتن و میلگرد مصرفی در تیرها و ستون‌ها (معرفی شده در جدول ۱) به ترتیب C25 و S400 می‌باشند.



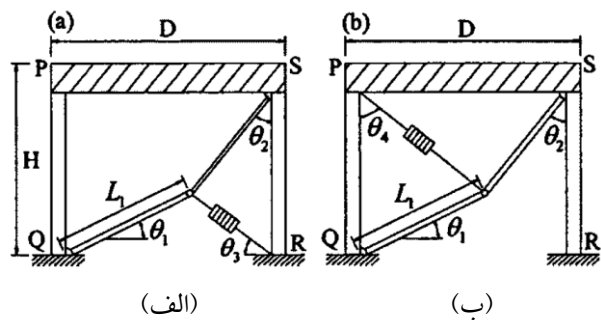
شکل ۷- قاب‌های مورد ارزیابی،
الف) ۶ طبقه، ب) ۹ طبقه

هر دو قاب به روش استاتیکی معادل بر اساس آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله [۳۴] طراحی گردیده‌اند. ساختمان‌ها با شکل‌پذیری متوسط ($R_u=5$) در پهنه با خطر نسبی زیاد و بر روی زمین نوع IV در نظر گرفته شده‌اند. قاب‌ها فقط بر اساس مقاومت طراحی شده و ضوابط کنترل تغییرشکل‌های جانبی کنترل نشده است. مشخصات تیرها و ستون‌ها مطابق جدول ۱ می‌باشد.

۵- مشخصات میراگرهای مورد استفاده

بر اساس روابط موجود در مرجع [۲۹] سه نمونه BSD با مشخصات هندسی مطابق جدول ۲ انتخاب گردید.

مهاربندها در این خصوص هستند. در سالیان اخیر چیدمان‌های جدیدی توسط محققین برای استفاده بهتر از میراگرها پیشنهاد شده است. مطالعات آزمایشگاهی و تحلیلی نسبتاً خوبی هم در این خصوص انجام شده و حتی چند ساختمان نسبتاً بلندمرتبه در کشور آمریکا و ژاپن به این روش‌ها ساخته شده است [۳۱-۳۳]. سیستم مهاربند تغییر وضعیت^۱ یکی از این سیستم‌های مؤثر در افزایش کارایی میراگرها است [۳۳] این سیستم را می‌توان مطابق شکل ۶ در دو حالت مورد استفاده قرارداد، سیستم تغییر وضعیت در بالا^۲ و پایین^۳.



شکل ۶- سیستم مهاربند تغییر وضعیت،
الف) تغییر وضعیت پایین (Lower Toggle)،
ب) تغییر وضعیت بالا (Upper Toggle).

در این پژوهش از این سیستم برای استقرار میراگرهای BSD در قاب‌ها استفاده شده است.

در سیستم مهاربند تغییر وضعیت، ضریب بزرگنمایی (f) که نشان‌دهنده نسبت تغییرشکل ایجاد شده در میراگر (u_D) به تغییرشکل نسبی درون طبقه (u) است، دارای اهمیت زیادی می‌باشد [۳۳]. ضریب بزرگنمایی بزرگ‌تر از یک نشان‌دهنده این است که تغییرشکل ایجاد شده در میراگر بیشتر از تغییرشکل درون طبقه‌ای می‌باشد. هر چه تغییرشکل میراگر بیشتر باشد می‌توان انتظار اتلاف انرژی بیشتری از آن داشت. ضریب بزرگنمایی برای سیستم مهاربند تغییر وضعیت در پایین و بالا به ترتیب برابر روابط ۱ و ۲ پیشنهاد شده است [۳۳].

$$f_L = \frac{\sin \theta_2 \sin(\theta_1 + \theta_3)}{\cos(\theta_1 + \theta_2)} \quad (1)$$

³ Lower Toggle

¹ Toggle-Brace

² Upper Toggle

جدول ۱- مشخصات تیرها و ستون‌ها در قاب‌های ۶ و ۹ طبقه

طبقه	قاب ۶ طبقه			قاب ۹ طبقه		
	ابعاد تیر و ستون (میلی‌متر)	میلگرد لایه بالایی تیر	میلگرد لایه پایینی تیر	ابعاد تیر و ستون (میلی‌متر)	میلگرد لایه بالایی تیر	میلگرد لایه پایینی تیر
۹	400x400	8Φ25	5Φ25	400x400	8Φ25	5Φ25
۸	400x400	8Φ25	5Φ25	400x400	8Φ25	5Φ25
۷	500x500	16Φ22	5Φ25	500x500	16Φ22	5Φ25
۶	400x400	12Φ22	8Φ25	500x500	16Φ22	5Φ25
۵	400x400	12Φ22	8Φ25	550x550	16Φ25	5Φ25
۴	500x500	16Φ22	8Φ25	550x550	16Φ25	5Φ25
۳	500x500	16Φ22	8Φ25	600x600	16Φ25	5Φ25
۲	550x550	16Φ25	8Φ25	600x600	16Φ25	5Φ25
۱	550x550	16Φ25	8Φ25	650x650	16Φ25	5Φ25

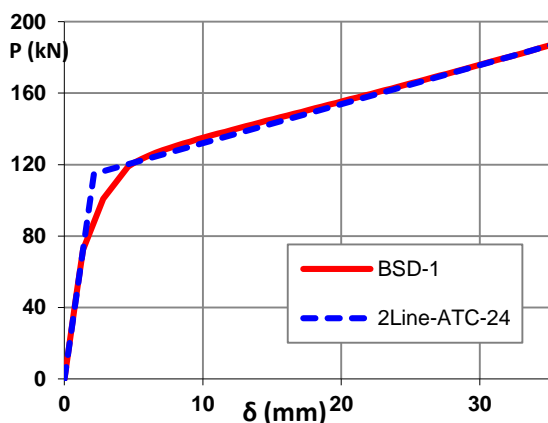
جدول ۲- مشخصات هندسی میراگرها
 عددی میراگرها مورد استفاده قرار خواهد گرفت. همچنین شکل ۹ ترسیم منحنی دوخطی برای نمونه BSD-1 را نشان می‌دهد.

جدول ۳- مشخصات میراگرها بر اساس روش ATC-24

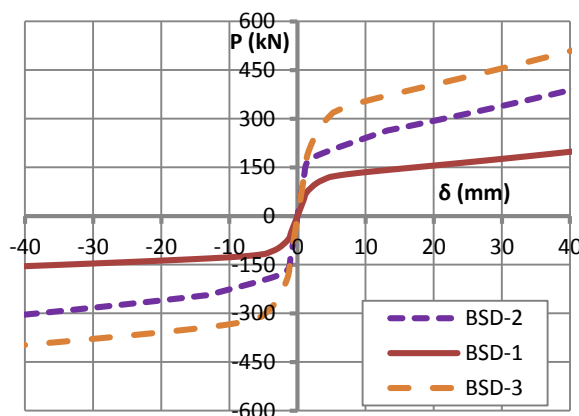
نمونه	کشش			فشار		
	δ_y (mm)	P_y (kN)	P_u (kN)	δ_y (mm)	P_y (kN)	P_u (kN)
BSD-1	2.1	115	188	-2.2	-117	-150
BSD-2	1.5	196	364	-1.6	-201	-293
BSD-3	2.4	305	482	-2.4	-309	-388

نمونه	ابعاد خارجی (میلی‌متر)	ضخامت (میلی‌متر)	عمق (میلی‌متر)	تنش جاری شدن فولاد (Mpa)
BSD-2	200x200	20	200	240
BSD-3	200x200	20	200	360

شکل ۸ نمودار نیرو در برابر تغییر مکان در سه نمونه BSD انتخاب شده را نشان می‌دهد.



شکل ۹- منحنی نیرو و تغییر مکان و دوخطی نمونه BSD-1



شکل ۸- نمودار نیرو در برابر تغییر مکان در سه نمونه BSD انتخاب شده

۶- انتخاب موقعیت استقرار میراگرها در قاب‌ها
 در هر کدام از قاب‌های ۶ و ۹ طبقه، میراگرها در دو مدل استقرار تغییر وضعیت بالا و پایین بکار برده شده و رفتار لرزه‌ای قاب‌های

با استفاده از روش ATC-24 [۳۵] نیروی جاری شدن (P_y)، تغییر مکان جاری شدن (δ_y) و ظرفیت نهایی (P_u) میراگرهای موردنظر مطابق جدول ۳ محاسبه گردیده است. این مشخصات در مدل‌سازی

۷- مدل سازی و بررسی نتایج تحلیل

مدل های استقرار و میراگرهای انتخابی در ۱۰ حالت برای هر کدام از قاب های ۶ و ۹ طبقه مطابق جداول ۴ و ۵ در نظر گرفته شده است.

در هر کدام از قاب های ۶ و ۹ طبقه ۱۰ مدل مورد ارزیابی قرار گرفت (جداول ۴ و ۵). سه مدل با توزیع یکنواخت میراگرها و دو مدل با توزیع مثلثی میراگرها در ارتفاع. در نام گذاری هر مدل به ترتیب از چپ به راست تعداد طبقه قاب، نوع استقرار میراگر و شماره میراگر نوشته شده است. به عنوان مثال نام مدل 9U1 به معنی قاب ۹ طبقه که استقرار میراگرها به صورت تغییر وضعیت بالا با میراگر BSD-1 و 6L2 به معنی قاب ۶ طبقه که استقرار میراگرها به صورت تغییر وضعیت پایین با میراگر BSD-2 است. مدل های ۴ و ۵ در هر دسته به ترتیب دارای توزیع میراگرهای ضعیف تر به قوی تر در ارتفاع و برعکس هستند. قاب های خمشی ۶ و ۹ طبقه بدون میراگر به ترتیب 6MRF و 9MRF نام گذاری شده اند.

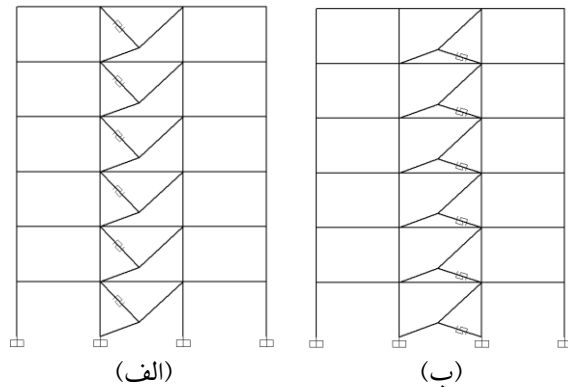
با استفاده از نرم افزار Sap2000 [۳۶] تمامی مدل ها تحلیل غیرخطی استاتیکی شدند. مشخصات مفاصل پلاستیک بر اساس آیین نامه FEMA-356 [۳۷] تعریف شده اند. در محاسبه تغییر مکان هدف از روش طیف ظرفیت آیین نامه ATC-40 [۳۸] استفاده شده است.

اشکال ۱۳ الی ۱۶ منحنی برش پایه در برابر تغییر مکان بام در تمام مدل های مربوط به قاب ۹ طبقه را نشان می دهند. همچنین شکل ۱۷ منحنی برش پایه در برابر تغییر مکان بام را در مدل های 6MRF و 6U1 تا 6U5 نشان می دهد. در این اشکال تغییر مکان هدف در هر مدل، روی منحنی مربوطه مشخص شده است.

جدول ۶ و ۷ به ترتیب نتایج به دست آمده در خصوص قاب های ۹ و ۶ طبقه را نشان می دهد. این نتایج شامل تغییر مکان هدف، تفاوت تغییر مکان هدف نسبت به قاب خمشی، برش پایه، برش پایه نسبت به قاب خمشی، بیشترین تغییر شکل میراگر، بیشترین تغییر مکان درون طبقه و بیشترین تغییر مکان نسبی طبقات می باشند.

در مدل های قاب ۹ طبقه بیشترین کاهش در تغییر مکان هدف و تغییر مکان نسبی طبقات در مدل 9U3 اتفاق افتاده است. در این مدل میراگر BSD-3 با سیستم تغییر وضعیت بالا به صورت یکنواخت در مدل توزیع شده است. تغییر مکان هدف در این

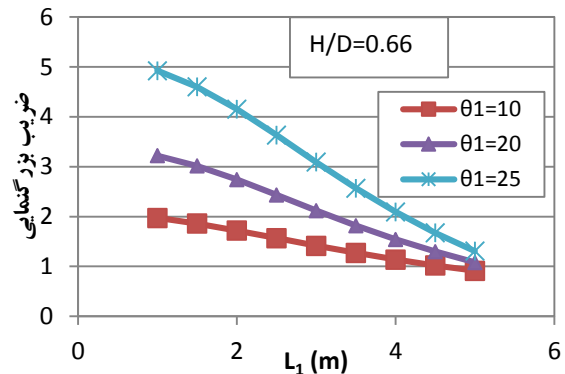
با میراگر مورد ارزیابی قرار گرفته است. شکل ۱۰ مدل های استقرار میراگر در قاب ۶ طبقه را نشان می دهد.



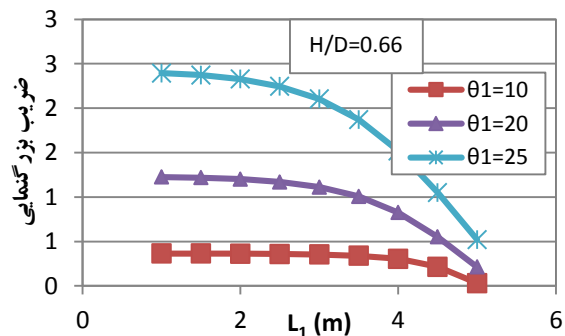
شکل ۱۰- مدل های استقرار میراگر در قاب ۶ طبقه ،

الف) Upper Toggle، ب) Lower Toggle

بر اساس روابط ۱ و ۲، اشکال ۱۱ و ۱۲ ضریب بزرگنمایی دو سیستم مورد استفاده را نسبت طول L_1 و زوایای مختلف θ_1 نشان می دهند. در این پژوهش L_1 برابر 2.5m و θ_1 برابر ۲۰ درجه انتخاب گردیده اند. بر این اساس ضرایب بزرگنمایی در دو حالت تغییر وضعیت بالا و پایین به ترتیب برابر 2.44 و 1.17 می باشند.



شکل ۱۱- ضریب بزرگنمایی Upper Toggle



شکل ۱۲- ضریب بزرگنمایی Lower Toggle

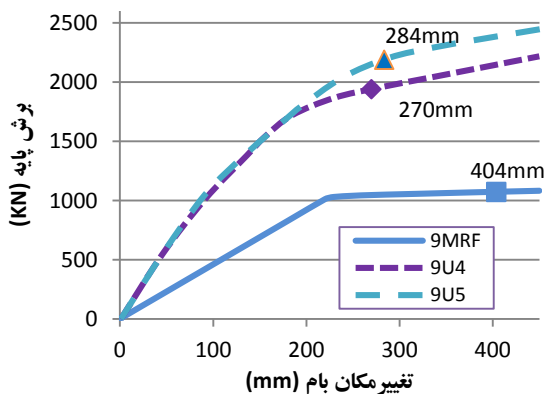
حالت ۳۶٪ کمتر از مقدار مشابه در قاب بدون میراگر است. توزیع یکنواخت میراگر BSD-1 در سیستم تغییر وضعیت همچنین کمترین افزایش در برش پایه، به میزان ۴۹٪، در مدل با پایین، (9L1) مشاهده می‌شود.

جدول ۴- نام گذاری مدل‌ها و مشخصات میراگرهای مورد استفاده در هر مدل در قاب ۹ طبقه

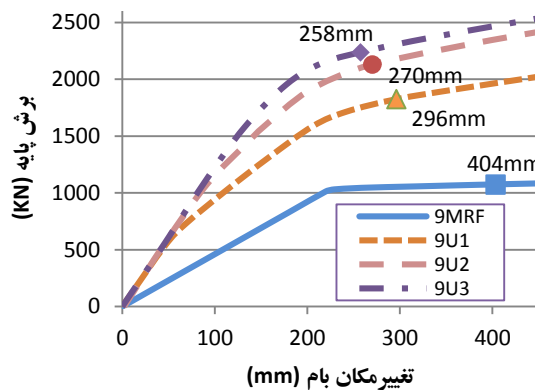
Lower Toggle					Upper Toggle					استقرار
9L5	9L4	9L3	9L2	9L1	9U5	9U4	9U3	9U2	9U1	نام مدل
BSD-1	BSD-3	BSD-3	BSD-2	BSD-1	BSD-1	BSD-3	BSD-3	BSD-2	BSD-1	9
BSD-1	BSD-3	BSD-3	BSD-2	BSD-1	BSD-1	BSD-3	BSD-3	BSD-2	BSD-1	8
BSD-1	BSD-3	BSD-3	BSD-2	BSD-1	BSD-1	BSD-3	BSD-3	BSD-2	BSD-1	7
BSD-2	BSD-2	BSD-3	BSD-2	BSD-1	BSD-2	BSD-2	BSD-3	BSD-2	BSD-1	6
BSD-2	BSD-2	BSD-3	BSD-2	BSD-1	BSD-2	BSD-2	BSD-3	BSD-2	BSD-1	5
BSD-2	BSD-2	BSD-3	BSD-2	BSD-1	BSD-2	BSD-2	BSD-3	BSD-2	BSD-1	4
BSD-3	BSD-1	BSD-3	BSD-2	BSD-1	BSD-3	BSD-1	BSD-3	BSD-2	BSD-1	3
BSD-3	BSD-1	BSD-3	BSD-2	BSD-1	BSD-3	BSD-1	BSD-3	BSD-2	BSD-1	2
BSD-3	BSD-1	BSD-3	BSD-2	BSD-1	BSD-3	BSD-1	BSD-3	BSD-2	BSD-1	1

جدول ۵- نام گذاری مدل‌ها و مشخصات میراگرهای مورد استفاده در هر مدل در قاب ۶ طبقه

Lower Toggle					Upper Toggle					استقرار
6L5	6L4	6L3	6L2	6L1	6U5	6U4	6U3	6U2	6U1	نام مدل
BSD-1	BSD-3	BSD-3	BSD-2	BSD-1	BSD-1	BSD-3	BSD-3	BSD-2	BSD-1	6
BSD-1	BSD-3	BSD-3	BSD-2	BSD-1	BSD-1	BSD-3	BSD-3	BSD-2	BSD-1	5
BSD-2	BSD-2	BSD-3	BSD-2	BSD-1	BSD-2	BSD-2	BSD-3	BSD-2	BSD-1	4
BSD-2	BSD-2	BSD-3	BSD-2	BSD-1	BSD-2	BSD-2	BSD-3	BSD-2	BSD-1	3
BSD-3	BSD-1	BSD-3	BSD-2	BSD-1	BSD-3	BSD-1	BSD-3	BSD-2	BSD-1	2
BSD-3	BSD-1	BSD-3	BSD-2	BSD-1	BSD-3	BSD-1	BSD-3	BSD-2	BSD-1	1



شکل ۱۴- منحنی برش پایه در برابر تغییر مکان بام در مدل‌های 9U5 و 9U4

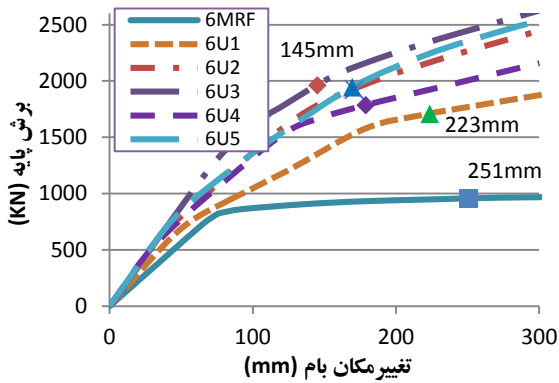


شکل ۱۳- منحنی برش پایه در برابر تغییر مکان بام در مدل‌های 9U3 تا 9U1

به میزان ۵۴٪، در مدل با توزیع یکنواخت میراگر BSD-1 در سیستم تغییر وضعیت پایین، (6L1) مشاهده می‌شود. بیشترین کاهش در تغییر مکان هدف در هر دو قاب ۹ و ۶ طبقه مربوط به توزیع یکنواخت میراگر BSD-3 در ارتفاع در حالت تغییر وضعیت بالا است. همچنین کمترین افزایش برش پایه در هر دو

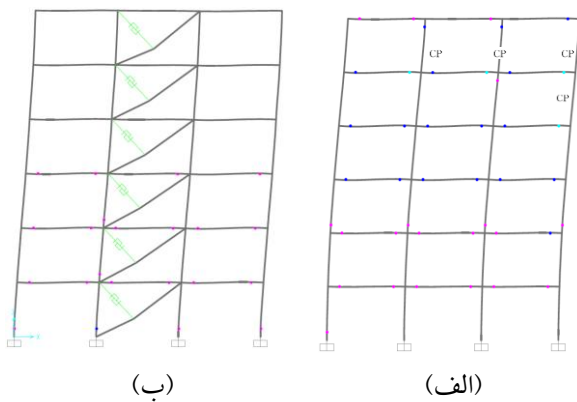
در مدل‌های قاب ۶ طبقه بیشترین کاهش در تغییر مکان هدف در مدل 6U3 اتفاق افتاده است. در این مدل میراگر BSD-3 با سیستم تغییر وضعیت بالا به صورت یکنواخت در مدل توزیع شده است. تغییر مکان هدف در این حالت ۴۲٪ کمتر از مقدار مشابه در قاب بدون میراگر است. همچنین کمترین افزایش در برش پایه،

پارامترهای مهم طراحی می‌باشد. در این پژوهش بیشترین تغییرشکل ایجاد شده در میراگر در قاب‌های ۹ و ۶ طبقه به ترتیب در مدل‌های 9L3 و 6L3 دارای کمترین مقدار است که مربوط به توزیع یکنواخت میراگر BSD-3 در ارتفاع در حالت تغییر وضعیت پایین است.



شکل ۱۷- منحنی برش پایه در برابر تغییر مکان بام در مدل‌های 6U5 تا 6U1

شکل ۱۸ توزیع مفاصل پلاستیک در قاب ۶ طبقه و مدل 6U1 که دارای میراگر BSD-1 است را در تغییر مکان هدف نشان می‌دهد. عملکرد قاب بدون میراگر "آستانه فروریزش" است. مفاصلی که به این عملکرد رسیده‌اند با CP در شکل مشخص شده‌اند. ولی عملکرد سازه تقویت شده "ایمنی جانی" می‌باشد. این روند در کلیه مدل‌های ۶ و ۹ طبقه مشاهده می‌گردد. یعنی استفاده از میراگر BSD باعث ارتقاء عملکرد سازه از "آستانه فروریزش" به حداقل "ایمنی جانی" و در برخی حالات به "قابلیت استفاده بی‌وقفه" گردیده است.

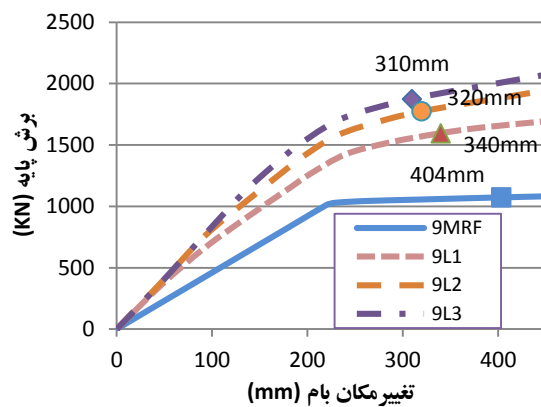


(الف) (ب)

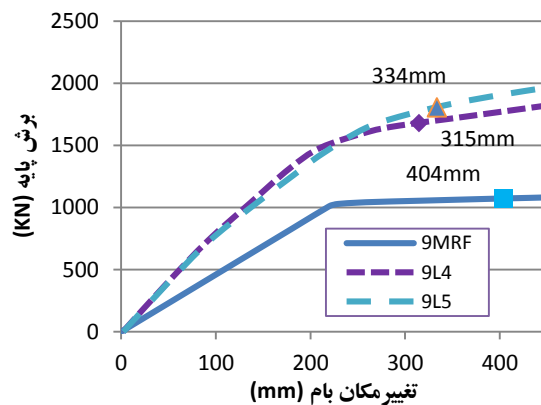
شکل ۱۸- توزیع مفاصل پلاستیک
الف) مدل 6MRF ب) مدل 6U1

قاب مربوط به توزیع یکنواخت BSD-1 در ارتفاع در حالت تغییر وضعیت پایین است (BSD-1 و BSD-3 به ترتیب قوی‌ترین و ضعیف‌ترین میراگرهای استفاده شده در این پژوهش هستند).

بررسی مقایسه‌ای نتایج همه مدل‌ها نشان می‌دهد که استقرار میراگرها به صورت تغییر وضعیت بالا تأثیر بیشتری روی کاهش تغییر مکان‌های هدف داشته‌اند. همچنین توجه به توزیع مثلی میراگرها در ارتفاع (افزایشی یا کاهش) نشان می‌دهد که در این حالات علاوه بر کاهش مقدار قابل توجه تغییر مکان هدف، میزان افزایش برش پایه از عموم حالات با توزیع یکنواخت میراگرها، کمتر است.



شکل ۱۵- منحنی برش پایه در برابر تغییر مکان بام در مدل‌های 9L3 تا 9L1



شکل ۱۶- منحنی برش پایه در برابر تغییر مکان بام در مدل‌های 9L5 و 9L4

نکته مهم دیگری که باید در طراحی هر میراگر جاری شونده‌ای مورد توجه قرار گیرد، تغییرشکل ایجاد شده در میراگر است. زیرا میراگر باید توان تحمل این تغییرشکل را بدون گسیختگی داشته باشد. از این رو بیشترین تغییرشکل ایجاد شده در میراگر یکی از

جدول ۶- نتایج تحلیل در مدل‌های مربوط به قاب ۹ طبقه

9L5	9L4	9L3	9L2	9L1	9U5	9U4	9U3	9U2	9U1	9MRF	نام مدل
334	315	310	320	340	284	270	258	270	296	404	تغییر مکان هدف (mm)
-17	-22	-23	-21	-16	-30	-33	-36	-33	-27	0	تفاوت تغییر مکان هدف نسبت به قاب خمشی (%)
1807	1682	1873	1773	1595	2188	1939	2237	2130	1825	1073	برش پایه (KN)
168	157	175	165	149	204	181	208	199	170	100	برش پایه نسبت به قاب خمشی (%)
33	45	29	35	48	52	86	41	54	86	0	بیشترین تغییر شکل میراگر (mm)
48	51	48	50	54	39	48	39	40	47	55	بیشترین تغییر مکان درون طبقه (mm)
1.45	1.55	1.45	1.52	1.64	1.18	1.45	1.18	1.21	1.42	1.67	بیشترین تغییر مکان نسبی طبقات (%)

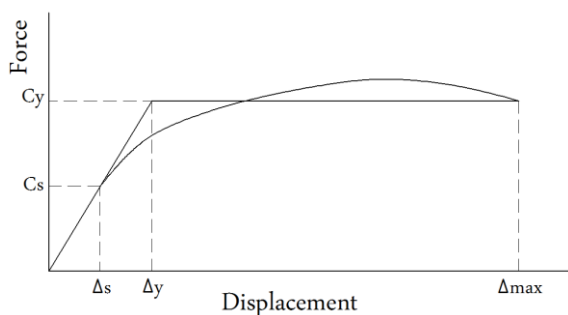
جدول ۷- نتایج تحلیل در مدل‌های مربوط به قاب ۶ طبقه

6L5	6L4	6L3	6L2	6L1	6U5	6U4	6U3	6U2	6U1	6MRF	نام مدل
254	236	229	240	258	169	179	145	171	223	251	تغییر مکان هدف (mm)
1	-6	-9	-4	3	-33	-29	-42	-32	-11	0	تفاوت تغییر مکان هدف نسبت به قاب خمشی (%)
1686	1559	1759	1656	1471	1943	1785	1962	1924	1709	957	برش پایه (KN)
176	163	184	173	154	203	187	205	201	179	100	برش پایه نسبت به قاب خمشی (%)
47	46	30	35	48	63	81	37	52	89	0	بیشترین تغییر شکل میراگر (mm)
30	52	49	50	53	38	43	31	36	47	60	بیشترین تغییر مکان درون طبقه (mm)
0.91	1.58	1.48	1.52	1.61	1.15	1.30	0.94	1.09	1.42	1.82	بیشترین تغییر مکان نسبی طبقات (%)

۸- محاسبه ضریب رفتار

در این روابط Ω ضریب اضافه مقاومت، T زمان تناوب سازه، μ شکل پذیری سازه، R_{μ} ضریب کاهش شکل پذیری، Φ رابطه‌ای که به نوع خاک مربوط است، Δ_{max} بیشترین تغییر مکان، Δ_y تغییر مکان جاری شدن در منحنی دوخطی سازه، C_s و C_y به ترتیب نیروی جاری شدن ایده‌آل و نیروی متناظر با اولین جاری شدن در سازه، می‌باشند. جداول ۸ و ۹ جزئیات محاسبه ضریب رفتار در مدل‌های مورد بررسی در قاب‌های ۹ و ۶ طبقه را نشان می‌دهند.

در روند طراحی لرزه‌ای سازه‌ها بر اساس نیرو (روش متداول در طراحی لرزه‌ای)، ضریب رفتار (R_{II}) یکی از مهم‌ترین پارامترها می‌باشد. این پارامتر رابط بین رفتار غیرخطی سازه (رفتار واقعی) و تحلیل‌های الاستیک متداول در طراحی سازه‌ها می‌باشد. ضریب رفتار با میزان شکل پذیری و اضافه مقاومت سازه در ارتباط است [۳۹ و ۴۰]. در این پژوهش ضریب رفتار بر اساس روش پیشنهادی توسط Miranda [۴۰] بر اساس روابط ذیل و شکل ۱۹ محاسبه می‌گردد:



شکل ۱۹- پارامترهای مورد استفاده در محاسبه ضریب رفتار [۳۹]

$$R_{II} = R_{\mu} \cdot \Omega \quad (3)$$

$$\Omega = \frac{C_y}{C_s} \quad (4)$$

$$R_{\mu} = \frac{\mu - 1}{\Phi} + 1 \geq 1 \quad (5)$$

$$\mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \quad (6)$$

$$\Phi = 1 + \frac{1}{12T - \mu T} - \frac{2}{5T} \exp \left[-2 \left(LnT - \frac{1}{5} \right)^2 \right] \quad (7)$$

جدول ۸- جزئیات محاسبه ضریب رفتار در قاب‌های ۹ طبقه.

نام مدل	9MRF	9U1	9U2	9U3	9U4	9U5	9L1	9L2	9L3	9L4	9L5
T (s)	1.67	1.10	1.08	1.06	1.11	1.08	1.38	1.29	1.28	1.31	1.31
Δ_{max} (mm)	404	296	270	258	270	284	340	320	310	315	334
Δ_y (mm)	224	105	127	147	131	119	171	160	183	174	157
μ	1.80	2.82	2.13	1.76	2.05	2.38	1.99	2.00	1.70	1.81	2.13
Φ	0.86	0.74	0.73	0.73	0.74	0.74	0.79	0.77	0.76	0.77	0.77
C_y (KN)	1032	1139	1505	1802	1486	1392	1208	1303	1522	1373	1234
C_s (KN)	1010	535	560	1120	552	553	361	757	768	379	375
R_{μ}	1.93	3.44	2.53	2.04	2.43	2.87	2.25	2.30	1.91	2.05	2.46
Ω	1.02	2.13	2.69	1.61	2.69	2.52	3.35	1.72	1.98	3.63	3.29
R_u	1.97	7.34	6.81	3.28	6.54	7.23	7.55	3.96	3.79	7.43	8.10

جدول ۹- جزئیات محاسبه ضریب رفتار در قاب‌های ۶ طبقه.

نام مدل	6MRF	6U1	6U2	6U3	6U4	6U5	6L1	6L2	6L3	6L4	6L5
T (s)	0.89	0.85	0.74	0.75	0.79	0.74	1.01	0.95	0.96	1.03	1.01
Δ_{max} (mm)	251	223	171	145	179	169	258	240	229	236	254
Δ_y (mm)	78	71	55	81	84	53	140	97	110	150	160
μ	3.24	3.16	3.13	1.80	2.13	3.16	1.84	2.49	2.08	1.57	1.59
Φ	0.76	0.77	0.82	0.80	0.78	0.82	0.73	0.74	0.73	0.73	0.73
C_y (KN)	871	981	971	1417	1281	930	1144	1004	1201	1363	1369
C_s (KN)	728	665	635	637	597	770	359	348	619	378	374
R_{μ}	3.95	3.81	3.58	1.99	2.45	3.63	2.15	3.01	2.47	1.79	1.81
Ω	1.20	1.48	1.53	2.22	2.15	1.21	3.18	2.89	1.94	3.60	3.66
R_u	4.71	5.62	5.48	4.44	5.26	4.38	6.85	8.69	4.80	6.44	6.64

در مدل‌های ۹ طبقه بیشترین ضریب رفتار مربوط به مدل 9L5 (وضعیت پایین) با مقدار 8.10 است. بیشترین شکل پذیری، μ ، با توزیع کاهشی ظرفیت میراگرها در ارتفاع در سیستم تغییر وضعیت پایین) با مقدار 8.10 است. بیشترین شکل پذیری، μ ، با مقدار 2.82 در مدل 9U1 (توزیع یکنواخت میراگر BSD-1 در ارتفاع در سیستم تغییر وضعیت پایین) و بیشترین ضریب اضافه مقاومت، Ω ، با مقدار 3.63 در مدل 9L4 (توزیع افزایشی ظرفیت میراگرها در ارتفاع در سیستم تغییر وضعیت پایین) مشاهده می‌گردد. کمترین ضریب رفتار در مدل 9U3 (توزیع یکنواخت میراگر BSD-3 در ارتفاع در سیستم تغییر وضعیت بالا) با مقدار 3.28 محاسبه گردیده است. میانگین و انحراف معیار ضریب رفتار در ۱۰ مدل بررسی شده در قاب ۹ طبقه به ترتیب 6.20 و 1.71 است.

در مدل‌های ۶ طبقه بیشترین ضریب رفتار مربوط به مدل 6L2 (توزیع یکنواخت میراگر BSD-2 در ارتفاع در سیستم تغییر وضعیت پایین) با مقدار 8.69 است. بیشترین شکل پذیری، μ ، با مقدار 3.16 در مدل 6U1 (توزیع یکنواخت میراگر BSD-1 در ارتفاع در سیستم تغییر وضعیت بالا) و بیشترین ضریب اضافه مقاومت، Ω ، با مقدار 3.66 در مدل 6L5 (توزیع کاهشی ظرفیت میراگرها در ارتفاع در سیستم تغییر وضعیت پایین) مشاهده می‌گردد. کمترین ضریب رفتار در مدل 6U5 (توزیع کاهشی ظرفیت میراگرها در ارتفاع در سیستم تغییر وضعیت بالا) با مقدار 4.38 محاسبه گردیده است. میانگین و انحراف معیار ضریب رفتار در ۱۰ مدل بررسی شده در قاب ۶ طبقه به ترتیب 5.86 و 1.26 است.

میانگین ضریب رفتار در ۲۰ مدل مورد بررسی در این پژوهش مقدار 6.03 است. ضریب رفتار به دست آمده در قاب خمشی ۹ طبقه بدون میراگر 1.97 است که با مقدار پیشنهادی در آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله [۳۴] تفاوت زیادی دارد. در این آیین‌نامه

۱۰- مراجع

- [1] Soong, T. T., & Dargush, G. F. (1997). *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*, John Wiley & Sons, New York, 282.
- [2] Cheng, F. Y., Jiang, H., & Lou, K. (2008). *Smart structures: innovative systems for seismic response control*. CRC press.
- [3] Constantinou, M. C., Soong, T. T., & Dargush, G. F. (1998). *Passive energy dissipation systems for structural design and retrofit*.
- [4] TahamouliRoudsari, M., Eslamimanesh, M. B., Entezari, A. R., Noori, O., & Torkaman, M. (2018, June). *Experimental Assessment of Retrofitting RC Moment Resisting Frames with ADAS and TADAS Yielding Dampers*. In *Structures* (Vol. 14, pp. 75-87). Elsevier.
- [5] Mirzabagheri, S., Sanati, M., Aghakouchak, A. A., & Khadem, S. E. (2015). *Experimental and numerical investigation of rotational friction dampers with multi units in steel frames subjected to lateral excitation*. *Archives of civil and mechanical engineering*, 15(2), 479-491.
- [6] Nielsen, E. J., Lai, M. L., Soong, T. T., & Kelly, J. M. (1996, May). *Viscoelastic damper overview for seismic and wind applications*. In *Smart Structures and Materials 1996: Passive Damping and Isolation* (Vol. 2720, pp. 138-144). International Society for Optics and Photonics.
- [7] Xu, Z. D., Wang, D. X., & Shi, C. F. (2011). *Model, tests and application design for viscoelastic dampers*. *Journal of Vibration and Control*, 17(9), 1359-1370.
- [8] Xu, Z. D., Liao, Y. X., Ge, T., & Xu, C. (2016). *Experimental and theoretical study of viscoelastic dampers with different matrix rubbers*. *Journal of Engineering Mechanics*, 142(8), 04016051.
- [9] Lee, D., & Taylor, D. P. (2001). *Viscous damper development and future trends*. *The Structural Design of Tall Buildings*, 10(5), 311-320.
- [10] Ali, M. M., & Moon, K. S. (2007). *Structural developments in tall buildings: current trends and future prospects*. *Architectural science review*, 50(3), 205-223.
- [11] Zahrai, S. M., Abbasi, S., Samali, B., & Vrcelj, Z. (2012). *Experimental investigation of utilizing TLD with baffles in a scaled down 5-story benchmark building*. *Journal of Fluids and Structures*, 28, 194-210.
- [12] Kelly, J. M., Skinner, R. I., & Heine, A. J. (1972). *Mechanisms of energy absorption in special devices for use in earthquake resistant structures*. *Bulletin of NZ Society for Earthquake Engineering*, 5(3), 63-88.

برای قاب‌های خمشی با شکل‌پذیری متوسط $R_u=5$ پیشنهاد شده است. دلیل این اتفاق شاید به نامعینی کم قاب ۹ طبقه مربوط باشد. تعداد اعضای قاب انتخابی در این پژوهش نسبت به یک سازه واقعی با همین تعداد طبقات، کم است. ضریب اضافه مقاومت در این قاب تقریباً یک است. یعنی فاصله چندانانی بین اولین تنش جاری شدن و تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه وجود ندارد. ضریب رفتار به دست آمده در قاب خمشی ۶ طبقه بدون میراگر برابر 4.71 است که به مقدار آیین‌نامه‌ای نزدیک است. البته برخی از پژوهش‌های پیشین هم نشان داده‌اند که با افزایش ارتفاع سازه ضریب رفتار ممکن است کاهش یابد [۴۱].

۹- نتیجه‌گیری

در این پژوهش ۲۲ مدل که شامل قاب‌های خمشی بتن آرمه متوسط ۹ و ۶ طبقه با و بدون تجهیز به میراگر جعبه‌ای شکل مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج حاصله را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی کرد:

- پارامترهای هندسی موجود در میراگر جعبه‌ای شکل (BSD) این قابلیت را ایجاد می‌کند که طیف بزرگی از ظرفیت باربری و شکل‌پذیری را در سازه ایجاد نمود.
- با انتخاب میراگر قوی‌تر تغییر مکان هدف به مقدار زیادی کاهش می‌یابد ولی مقدار افزایش برش پایه در این حالت بسیار زیاد است که می‌تواند برای ستون‌های اطراف سیستم مهاری مشکلاتی را ایجاد نماید. همچنین در این حالت ضریب رفتار سازه کوچک خواهد بود.
- استقرار میراگرها در حالت تغییر وضعیت بالا تغییر مکان را به مقدار بیشتری کاهش می‌دهد و در این حالت تغییر شکل ایجاد شده در میراگر زیاد بوده و در طراحی حتماً باید به آن توجه ویژه داشت.
- در مجموع توزیع مثلثی میراگرهای BSD در ارتفاع و انتخاب ظرفیت مناسب برای هر میراگر در هر طبقه روش مناسب‌تری برای رسیدن به عملکرد لرزه‌ای مناسب می‌باشد.
- متوسط ضریب رفتار در مدل‌های دارای BSD حدود ۶ است که ۲۰٪ از مقدار پیشنهادی آیین‌نامه برای قاب‌های خمشی با شکل‌پذیری متوسط، $R_u=5$ ، بیشتر می‌باشد.

- [26] Andalib, Z., Kafi, M. A., Kheyroddin, A., Bazzaz, M., & Momenzadeh, S. (2018). Numerical evaluation of ductility and energy absorption of steel rings constructed from plates. *Engineering Structures*, 169, 94-106.
- [27] Bazzaz, M., Kheyroddin, A., Kafi, M. A., & Andalib, Z. (2012). Evaluation of the seismic performance of off-centre bracing system with ductile element in steel frames. *Steel & Composite Structures*, 12(5), 445-464.
- [28] Bazzaz, M., Kafi, M. A., Kheyroddin, A., Andalib, Z., & Esmaili, H. (2014). Evaluating the seismic performance of off-centre bracing system with circular element in optimum place. *International Journal of Steel Structures*, 14(2), 293-304.
- [29] Shirinkam, M. R., & Razzaghi, J. (2020, February). Experimental and analytical investigation on the behavior of metallic Box-Shaped Dampers (BSD). In *Structures* (Vol. 23, pp. 766-778). Elsevier.
- [۳۰] شیرین کام، محمد رضا و جواد رزاقی، ۱۳۹۴، بررسی رفتار میراگر جاری شونده جعبه‌ای شکل، دومین همایش ملی مهندسی سازه ایران، تهران، انجمن علمی مهندسی سازه ایران.
- [31] Polat, E., & Constantinou, M. C. (2016). Open-Space Damping System Description, Theory, and Verification. *Journal of Structural Engineering*, 143(4), 04016201.
- [32] Sigaher, A. N., & Constantinou, M. C. (2003). Scissor-jack-damper energy dissipation system. *Earthquake Spectra*, 19(1), 133-158.
- [33] Hwang, J. S., Huang, Y. N., & Hung, Y. H. (2005). Analytical and experimental study of toggle-brace-damper systems. *Journal of structural engineering*, 131(7), 1035-1043.
- [۳۴] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۲، آئین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ویرایش چهارم.
- [35] Krawinkler, H. (1992). ATC-24: Guidelines for Cyclic Seismic Testing of Components of Steel Structures. Redwood City, Report prepared for the Applied Technology Council.
- [36] CSI, Sap2000. (2010). Ver. 14.2.4, integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual. Berkeley (CA, USA): Computers and Structures Inc.
- [37] FEMA (Federal Emergency Management Agency). (2000). Fema 356: Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings in Rehabilitation Requirements. Washington, DC, USA: American Society of Civil Engineers.
- [13] Skinner, R. I., Kelly, J. M., & Heine, A. J. (1974). Hysteretic dampers for earthquake-resistant structures. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 3(3), 287-296.
- [14] Tsai, K. C., & Chen, H. W. (1992). Seismic response of building structures using steel triangular plate energy dissipators. Center for Earthquake Engineering Research, National Taiwan University.
- [15] Mahmoudi, M., & Abdi, M. G. (2012). Evaluating response modification factors of TADAS frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 71, 162-170.
- [16] Martinez-Romero, E. (1993). Experiences on the use of supplementary energy dissipators on building structures. *Earthquake spectra*, 9(3), 581-625.
- [17] Perry, C. L., Fierro, E. A., Sedarat, H., & Scholl, R. E. (1993). Seismic upgrade in San Francisco using energy dissipation devices. *Earthquake Spectra*, 9(3), 559-579.
- [18] Xia, C., & Hanson, R. D. (1992). Influence of ADAS element parameters on building seismic response. *Journal of Structural Engineering*, 118(7), 1903-1918.
- [19] Chen, Q., Wang, C. L., Meng, S., & Zeng, B. (2016). Effect of the unbonding materials on the mechanic behavior of all-steel buckling-restrained braces. *Engineering Structures*, 111, 478-493.
- [20] Wada, A., & Nakashima, M. (2004, August). From infancy to maturity of buckling restrained braces research. In 13th WCEE.
- [21] Tremblay, R., Bolduc, P., Neville, R., & DeVall, R. (2006). Seismic testing and performance of buckling-restrained bracing systems. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 33(2), 183-198.
- [22] Black, C. J., Makris, N., & Aiken, I. D. (2004). Component testing, seismic evaluation and characterization of buckling-restrained braces. *Journal of Structural Engineering*, 130(6), 880-894.
- [23] Kafi, M. A. (2008). Analytical and experimental study of effect of steel ring on ductility of concentric braces. the degree of Doctorate of Philosophy, Civil Engineering Department, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran, September.
- [24] Andalib, Z., Kafi, M. A., Kheyroddin, A., & Bazzaz, M. (2014). Experimental investigation of the ductility and performance of steel rings constructed from plates. *Journal of Constructional steel research*, 103, 77-88.
- [25] Deihim, M., & Kafi, M. A. (2017). A parametric study into the new design of a steel energy-absorbing connection. *Engineering Structures*, 145, 22-33.

[38] Comartin, C., Niewiarowski, R., & Rojahn, C. (1996). ATC-40 Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. SSC 96, 1.

[39] Zahrai, S. M., & Jalali, M. (2014). Experimental and analytical investigations on seismic behavior of ductile steel knee braced frames. Steel and Composite Structures, 16(1), 1-21.

[40] Miranda, E., & Bertero, V. V. (1994). Evaluation of strength reduction factors for earthquake-resistant design. Earthquake spectra, 10, 357-357.

[۴۱] واتقی امیری، جواد و حامد همراه، ۱۳۸۹، بررسی عملکرد لرزه‌ای قاب‌های فولادی ساده با بادبندهای برون‌محور، مجله مهندسی عمران و محیط‌زیست امیرکبیر، سال چهل و دوم شماره ۲.

Seismic performance evaluation of Concrete MRF by Box-Shaped Dampers (BSD)

M.R. Shirinkam

PhD student, Department of Civil Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.

J. Razzaghi *

Assistant Professor, Department of civil engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.

Abstract

Box-shaped damper (BSD) is a new type of yielding dampers that have been introduced recently. It does not require sophisticated technology and can be easily mounted in any type of diagonal steel brace. Adjustable geometrical parameters available in this damper allow the designer to easily select appropriate properties needed for dissipating seismic energy induced in the structure. In this research, behavior of reinforced concrete moment resisting frame with intermediate ductility and strengthened by BSD dampers were numerically studied. In total twenty-two frames were considered for numerical analyses. The models consisted of 6 and 9 story frames with different configurations of BSD dampers. All models were subjected to seismic forces and analyzed by nonlinear static methods. The results show that implementing the BSD dampers in reinforced concrete moment resisting frames, significantly reduces target displacement. Also, the average response modification factor calculated from the analyses is at least 20% higher than those of bare frames.

Keywords: Box-shaped dampers (BSD), Yielding Damper, Modification factor, Seismic Performance, Concrete MRF.

* Corresponding Author: javadr@guilan.ac.ir