

اثر نقص اولیه هندسی و درصد کرنش سخت شونده در رفتار

قابهای دارای مهاربند BRB و SCBF

علی داوران^۱، جواد حسن زاده^۲، نوروز طلوعی مولان^۳ و محمدجعفر رفیع زاده^۴

چکیده

در این مقاله رفتار غیرخطی - غیرالاستیک قابهای مهاربندی شده هم مرکز ویژه SCBF با قابهای مهاربندی شده ضد کمانشی BRBF مقایسه شده است. سازه های مختلفی با تعداد متفاوتی طبقه که قبلا با ضوابط آیین نامه های موجود و ضریب رفتارهای توصیه شده، طراحی گردیده بودند، بوسیله نرم افزار OPENSEES آنالیز استاتیکی غیر خطی شده و رفتار بار افزون و چرخه ای آنها برای هر دو نوع مهاربند تعیین گردیدند. همچنین اثر درصد کرنش سخت شونده و میزان نقص هندسی اولیه بابدند بر رفتار سازه ها نیز بررسی گردید. مقایسه نتایج، حاکی از رفتار شکل پذیرتر و پایدارتر مهاربند ضد کمانشی نسبت به بابدند معمولی می باشد همچنین تاثیر نقص هندسی اولیه فقط در گامهای اولیه جابجایی قابل توجه بوده و هرچه میزان درصد کرنش سخت شونده بیشتر باشد سازه رفتار پایدارتری در مقابل نیروهای بزرگتر از خود نشان می دهد.

کلید واژه ها: بابدند هم مرکز ویژه، بارافزون، برش پایه، بابدند کمانش تاب، بارگذاری چرخه ای

۱- مقدمه

المانهای قطری در بابدندهای هم مرکز معمولی علیرغم اینکه سختی و مقاومت سازه را افزایش می دهند، اما استهلاک انرژی قابل توجهی را در حین زلزله نشان نمی دهند. رفتار پس کمانشی ضعیف، زوال سختی و مقاومت و خستگی سیکل کم مشکل عمده و اساسی در عملکرد اعضای فشاری است. وقتی کمانش اتفاق می افتد سختی جانبی به شدت افت کرده و پایداری قاب کاهش یافته، باعث خرابی شدید در اعضای سازه ای و غیرسازه ای شده و در پاره ای موارد باعث فرو ریختن سازه می گردد شکل ۱. بدین ترتیب بابدندهای معمولی دارای ظرفیت شکل پذیری محدود و چرخه های نامتقارن انرژی هستند [۱].

برای غلبه بر مشکلات ذکر شده، انواع جدیدی از بابدندها از حدود ۳۰ سال پیش و برای اولین بار در ژاپن توسط Yashino و همکاران [۲] گسترش یافته است. این بابدندها طوری طراحی می شوند که در برابر کمانش مقاوم بوده، بنابراین دارای منحنی های متقارن تحت بارگذاریهای چرخه ای کششی و فشاری حاصل از تاثیر نیروهای زلزله باشند شکل ۲. همچنین رفتار سازه را

هرچند که در طول سالهای متمادی، روش های ساخت و طراحی سازه ها گسترش یافته است اما همچنان اثر زلزله از مهمترین مشکلات طراحی ساختمانها در مناطق لرزه خیز می باشد. بابدندهای معمولی در مقابل بارهای جانبی زمین لرزه یا نیروی باد دچار تغییر شکلهای جانبی زیادی می شوند و در صورتی که این تغییر شکلهای از حد معینی زیادتر شود موجب بروز خرابی سازه ای و غیر سازه ای شده و ایمنی و یکپارچگی سازه به خطر می افتد. خرابی تحت اثر $P - \Delta$ تشدید شده و تغییر شکل های مخرب افزون تر می گردد. برای مقابله با چنین تغییر شکل هایی انواع مختلف المانها و سیستمها در قاب های فولادی بکار برده می شوند.

مقاله در تاریخ ۸۶/۵/۲۸ دریافت و در تاریخ ۸۶/۱۲/۱۳ به تصویب نهایی رسید.

^۱ استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول)
پست الکترونیکی: davaran@tabrizu.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه تبریز

^۳ کارشناس آزمایشگاه، گروه عمران، دانشگاه تبریز

^۴ کارشناس آزمایشگاه، گروه عمران، دانشگاه تبریز

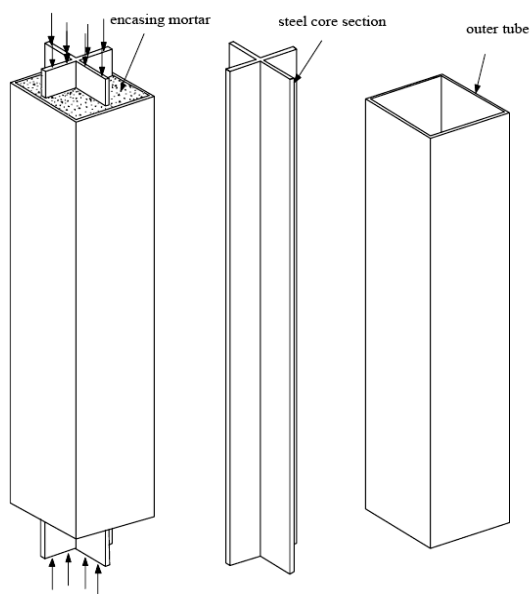
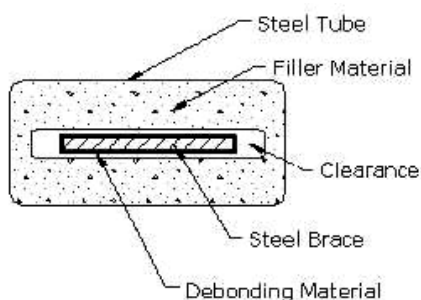
قسمت های مختلف یک BRB :

الف) بادبند هسته (core): که اساساً قسمت فولادی داخلی می‌باشد و در طبقه مربوط اثر نیروی جانبی را تحمل می‌کند.

ب) عضو غلافی (encasing member): که از بتن پیش تنیده یا لوله فولادی یا پانلهای بتنی پیش ساخته که بادبند داخلی را احاطه می‌کند، تشکیل شده و به عنوان عضو مهارری عمل کرده و سختی جانبی را در حالتی که بادبند هسته تمایل به تغییر شکل جانبی دارد، تامین می‌کند.

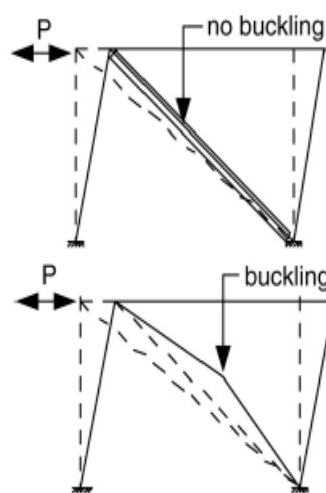
ج) سخت کننده انتهایی (projection): که بادبند را به قاب متصل می‌کند.

شکل ۳ یک مقطع عرضی از یک نوع BRB را که در آزمایش‌های مهندسی کار برد دارد، نشان می‌دهد.

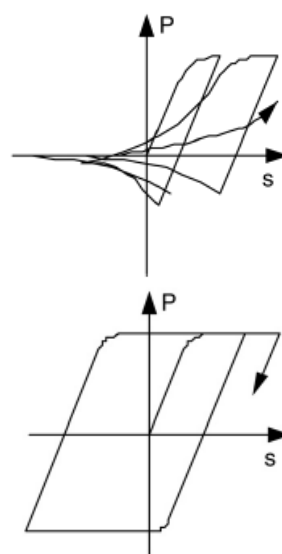


شکل ۳ قسمتهای مختلف یک BRB

از لحاظ پایداری و قابلیت جذب انرژی بهبود می‌بخشند. این بادبندها، بادبندهای کمانش تاب (ضدکمانشی) نامیده شده و در مقالات با مخفف BRB یا BRBF نشان داده می‌شوند. تحقیقات تئوری و آزمایشگاهی گسترده‌ای که نشانگر رفتار BRB باشد طی سالهای اخیر به قدری رشد نموده و بهینه شده که مستقیماً در طراحی ساختمانهای جدید مورد استفاده قرار گرفته یا در مقاوم سازی سازه‌های موجود از آن استفاده می‌شود.

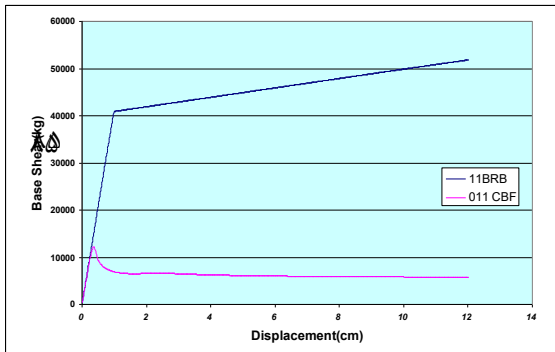


شکل ۱ رفتار کمانشی بادبند معمولی و بادبند BRB



شکل ۲ رفتار کلی بادبند معمولی و بادبند BRB تحت بارگذاری چرخه ای

برابر حد مجاز آیین نامه پوش داده شده و دارای رفتار پایداری می باشد. ماکزیمم برش پایه برای این پوش ۵۲T می باشد شکل ۴.

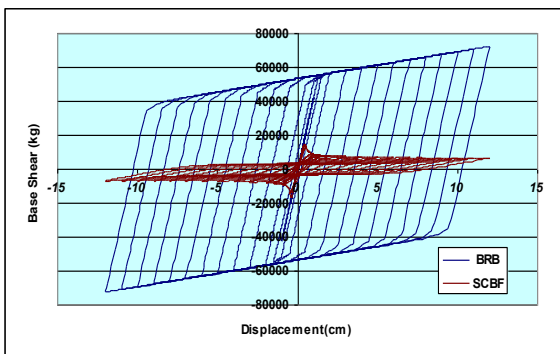


شکل ۴ مقایسه پاسخ قاب یک دهانه یک طبقه برای سیستم بادبند معمولی و BRB

ب) تحلیل چرخه ای

۱-ب-۱) مدل بادبند SCBF: نمونه تا ۱/۵ برابر حد مجاز برای جابجایی جانبی تحت تحلیل چرخه ای قرار گرفته است. رفتار سیستم تحت این بارگذاری، تقریباً متقارن بوده و خاصیت جذب انرژی سیستم چندان بالا نیست و همانند تحلیل پوش، برش پایه‌ی ماکزیمم قاب برای این بارگذاری حدوداً ۱۲ T می باشد و سختی سیستم رفته رفته کاهش می یابد و در قسمت میانی چرخه های انتهایی Pinching به سادگی قابل مشاهده است شکل ۵.

۱-ب-۲) مدل BRBF: سیستم تحت تحلیل چرخه ای قرار گرفته و افت سختی به ازای مقدار نهایی جابجایی مجاز در آن مشاهده نمی شود. مطابق شکل ۵ چرخه ها کاملاً متقارن بوده و سیستم خاصیت جذب انرژی بالایی دارد. مقدار ماکزیمم برش پایه همان مقدار قبلی تحلیل بار-افزون، یعنی ۵۲T می باشد.



شکل ۵ مقایسه پاسخ قاب یک دهانه یک طبقه با سیستم بادبند معمولی و BRB

۲- مقایسه سیستم SCBF و BRBF برای مدل های مختلف

مدلهای غیر خطی تحلیلی برای مدل کردن رفتار سیستمهای BRBF و SCBF تحت بار یکنواخت و چرخه‌ای به کار گرفته شده‌اند. برای مدل کردن پاسخ کمانشی سیستم، بادبندها به المانهای تیر ستون متعدد تقسیم شده و در آنها یک انحراف اولیه ایجاد شده است [۳]. مقاطع اولیه پیش فرض، بر طبق آیین نامه ای برای بادبندهای SCBF و همچنین توصیه های آیین نامه SEAOC برای بادبندهای BRBF [۴] طراحی شده و برای تحلیل غیر خطی در نرم افزار OPENSEES مدلسازی شده و تحت بارگذاری بار افزون و چرخه ای قرار گرفته اند. مقدار جابجایی در نظر گرفته شده برای سازه های مورد نظر ۱٫۵ برابر حد مجاز توصیه شده توسط آیین نامه ها، برای سازه های با طبقات متفاوت می باشد تا بتوان بررسی بهتری در مورد رفتار سازه ها و کمانش المانهای بادبندی انجام داد. مدلهای با توجه به نتایج آزمایشهای پیشین تأیید شده اند و مدل، هر دو رفتار پس کمانشی و چرخه‌ای را شبیه سازی نموده است.

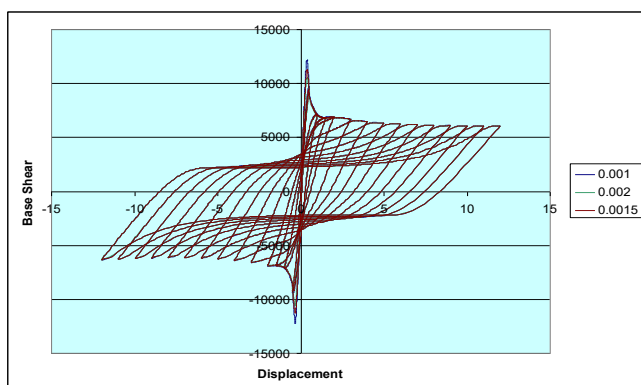
۱-۲ قاب یک دهانه یک طبقه

۱-۲-الف) تحلیل بار-افزون

۱-۲-الف) مدل بادبند SCBF: نمونه تا ۱/۵ برابر حد مجاز آیین نامه ی UBC 97 [5] که برای $T < 0.7$ sec، $0.025 H$ که در آن H ارتفاع کل سازه می باشد، پوش داده شد و هم چنان که از شکل نیز مشخص است نمونه پس از یک کمانش در محدوده ی حدوداً ۱ cm از آغاز آزمایش پوش تغییر مکان، که همراه با افت سختی است، به یک رفتار تقریباً پایدار رسیده است و منحنی پوش تا حد مجاز آن حدوداً ۱۲ cm ادامه پیدا می کند و برش پایه ماکزیمم حدوداً ۱۲ T می باشد شکل ۴،

۱-۲-الف) مدل BRBF: تا حدود 1cm با افزایش محسوسی در سختی سیستم و تا برش پایه ۴۰T ادامه پیدا کرده و بعد از آن با یک شیب افزایشی که نشانگر درصد کرنش سخت شونده معرفتی شده می باشد تا ۱/۵

اولیه، اثر این انحراف از بین خواهد رفت و منحنی‌ها بر هم منطبق خواهد شد.



شکل ۷ مقایسه تاثیر انحراف اولیه در رفتار قاب یک طبقه یک دهانه

۴- بررسی تاثیر درصد کرنش سخت شونده‌گی در

رفتار بادبند معمولی و BRB

برای بررسی اثر میزان درصد کرنش سخت شونده‌گی که برای فولادهای معمول مقدار آن متفاوت می باشد قاب های مختلف دارای سیستم بادبندی معمولی و BRB با در صد های مختلف ۱ تا ۵ درصد مورد تحلیل چرخه ای و بار- افزون قرار گرفتند که نتایج آن برای سازه های مختلف به شرح زیر می باشد:

۴-۱ قاب یک دهانه یک طبقه

۴-۱-۱ تحلیل بار- افزون

۴-۱-۱-۱ بادبند معمولی

با توجه به شکل ۸ با افزایش میزان درصد کرنش سخت شونده‌گی میزان برش پایه در مراحل قبل و بعد از کمانش نیز افزایش می یابد. همچنین شیب منحنی که متناسب با درصد کرنش سخت شونده‌گی می باشد برای ۰.۵٪ که بالاترین درصد، در نظر گرفته شده است نسبت به در صد های بقیه بیشتر می باشد.

۳- بررسی میزان Imperfection در سازه های

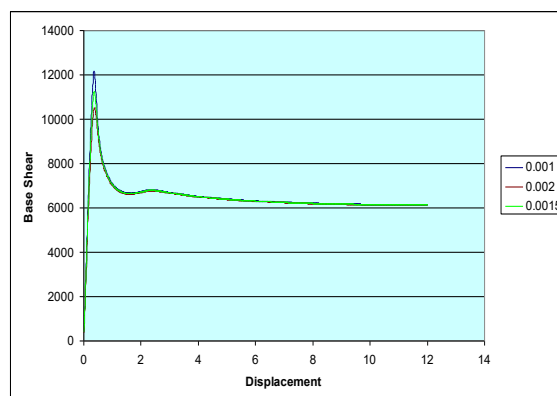
مختلف SCBF

برای این منظور، سازه های مختلف از نظر تعداد دهانه و ارتفاع و تعداد طبقات، تحت بارگذاری بار- افزون و چرخه ای با انحراف های اولیه 1:1000، 1:500، 1:750 مورد تحلیل قرار گرفته اند که نتایج آن به صورت زیر می باشد:

۳-۱ قاب یک دهانه و یک طبقه

۳-۱-۱ تحت تحلیل بار- افزون

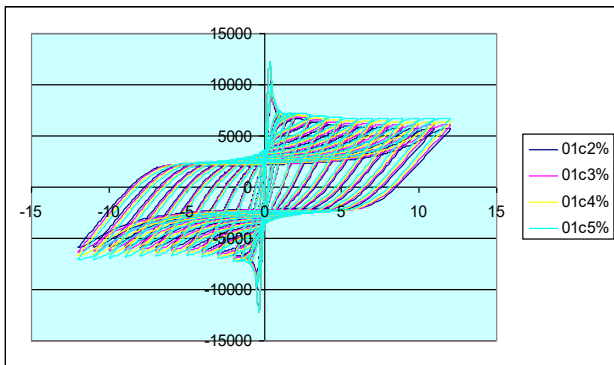
مقدار اولیه‌ی انحراف، فقط برای جابجای اولیه و کوچک حساس می باشد (1cm) به طوری که هر چقدر مقدار این انحراف بزرگ تر باشد، به ازای آن برش پایه ی کمتری را در جابجایی کوچک خواهیم داشت که در مرحله افزایش سختی قبل از کمانش صورت می گیرد، طوری که بعد از وقوع کمانش، اثر این انحراف نیز از بین خواهد رفت و سه منحنی که نشان دهنده مقادیر متفاوت انحرافهای هندسی اولیه می باشند بر هم منطبق خواهند شد. و بیشترین مقدار برش پایه به ازای کمترین میزان انحراف اولیه خواهد بود شکل ۶.



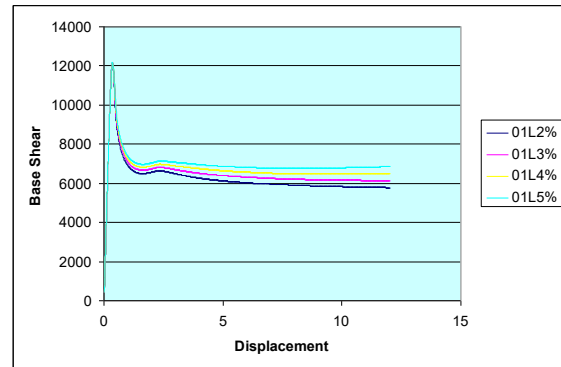
شکل ۶ مقایسه تاثیر انحراف اولیه در رفتار قاب یک طبقه یک دهانه

۳-۲ بارگذاری چرخه ای

مطابق شکل ۷ تحت بارگذاری چرخه ای نیز میزان انحراف اولیه فقط برای چرخه های اول و جابجایی های کوچک موثر خواهد بود (تا حدود 2cm) و بعد از چندین چرخه ی



شکل ۱۰ میزان درصد کرنش سخت شوندگی در رفتار قاب یک دهانه یک طبقه با بادبند معمولی



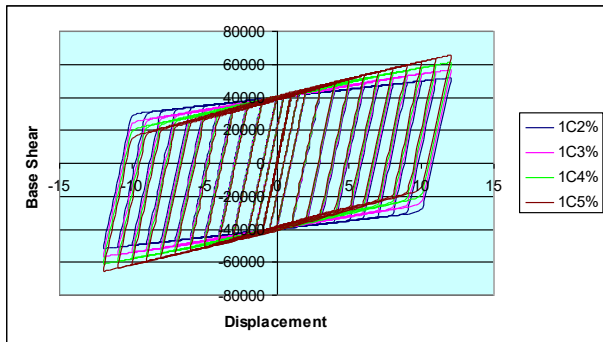
شکل ۸ میزان درصد کرنش سخت شوندگی در رفتار قاب یک دهانه یک طبقه دارای بادبند معمولی

۲-۲-۴-۱ بادبند BRB

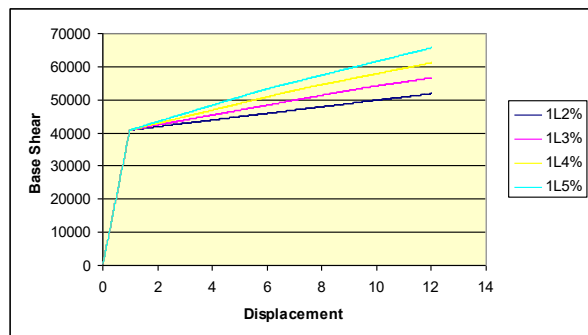
با افزایش میزان کرنش سخت شوندگی شیب چرخه ها هم افزایش پیدا می کند همچنین به ازای بیشترین مقدار درصد کرنش سخت شوندگی، بیشترین مقدار برش پایه را خواهیم داشت شکل ۱۱.

۲-۱-۴-۱-۲ بادبند BRB

با افزایش میزان درصد کرنش سخت شوندگی میزان برش پایه افزایش می یابد. همچنین شیب منحنی که متناسب با درصد کرنش سخت شوندگی می باشد برای ۰.۵٪ که بالاترین درصد، در نظر گرفته شده است نسبت به درصدهای بقیه بیشتر می باشد شکل ۹.



شکل ۱۱ میزان درصد کرنش سخت شوندگی در رفتار قاب یک دهانه یک طبقه با بادبند BRB



شکل ۹ میزان درصد کرنش سخت شوندگی در رفتار قاب یک دهانه یک طبقه دارای بادبند BRB

۵- نتیجه گیری

۱- تحلیل های انجام گرفته موید این مطلب است که بادبندهای کمانش تاب در مقایسه با بادبندهای معمولی رفتار پایدارتر و همچنین شکل پذیرتری از خود نشان می دهند و همچنین خاصیت جذب انرژی این سیستم ها به دلیل تشکیل چرخه های بلند تر و عریض تر هیستریزس در آنها بیشتر می باشد.

۲-۴-۱ تحلیل چرخه ای

۱-۲-۴-۱-۱ بادبند معمولی

با توجه به شکل ۱۰ همانند مدل های قبلی با افزایش میزان درصد کرنش سخت شوندگی میزان برش پایه نیز افزایش می یابد همچنین میزان نمو شیب های منحنی که متناسب با درصد کرنش سخت شوندگی مربوطه می باشد چه در مرحله قبل و چه در مرحله بعد از کمانش برای بیشترین درصد کرنش سخت شوندگی از مدل های دیگر بیشتر است.

مراجع

- [1] Qiang Xie. "State of The Art of Buckling-Restrained Braces in Asia" Journal of Constructional Steel Research .no.61,2005, pp.727-748.
- [2] Yoshino T, Kari no Y. Experimental study on shear wall with braces: Part 2. Summaries of technical papers of annual meeting, Vol. 11. Architectural Institute of Japan, Structural Engineering Section; 1971. p. 403-4 [in Japanese].
- [3] Gunnarsson, I, R. "Numerical Performance Evaluation of Braced Frame System". University of Washington. 2004. pp 17-18.
- [4] AISC/SEAOC (Recommended Provisions for Buckling-Restrained Braced Frames). "Structural Engineers Association of Northern California - Seismology and Structural Standards Committee", 2001.
- [5] International Codes Council ."Uniform Building Code, UBC 1997" International Conference of Building Officials, Whittier, CA, 1997.

۲- نقص هندسی به ازای مقادیر کوچک تر جابجایی و فقط در چرخه های اول موثرتر می باشد به طوریکه رفته رفته با افزایش جابجایی و در چرخه های عریض تر حساسیت سیستم نسبت به انحراف اولیه از بین می رود.

۳- میزان در صد سخت شونده‌گی کرنشی ارتباط مستقیمی با میزان برش پایه سیستم دارد. طوریکه بیشترین میزان برش پایه مربوط به بالاترین در صد سخت شونده‌گی کرنشی می باشد.