

کاهش تغییر مکان پسماند در قاب های مهاربندی شده با مهاربند کمانش ناپذیر به صورت سیستم دوگانه

محمد قاسمیان بالف، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه سمنان*

سلمان قاسمیان بالف، کارشناس ارشد فارغ التحصیل دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی**

پست الکترونیکی *Moh_Ghasemian@yahoo.com ، Tele : 09112125114

پست الکترونیکی **Ghasemian1382@yahoo.com ، Tele : 09126072622

چکیده:

قاب های با مهاربند کمانش ناپذیر (BRBFs) رفتار مطلوبی در اتلاف انرژی از خود نشان داده اند. با این وجود، کاهش سختی پس از جاری شدگی مهاربند باعث آسیب پذیری نامساعد و ایجاد تغییر مکان های دائمی در آن سیستم می شود. این مقاله به بررسی توانایی و عملکرد BRB در سیستم دوگانه در کاهش تغییر شکل دائمی قاب می پردازد. با استفاده از سیستم دوگانه نتایج آنالیز غیر خطی تاریخچه زمانی بهبود در کاهش تغییر مکان نسبی پسماند طبقه را نشان می دهد.

واژه های کلیدی:

قاب مهاربندی شده کمانش ناپذیر، BRBFs، سیستم دوگانه، تغییر مکان نسبی پسماند طبقه

۱- مقدمه

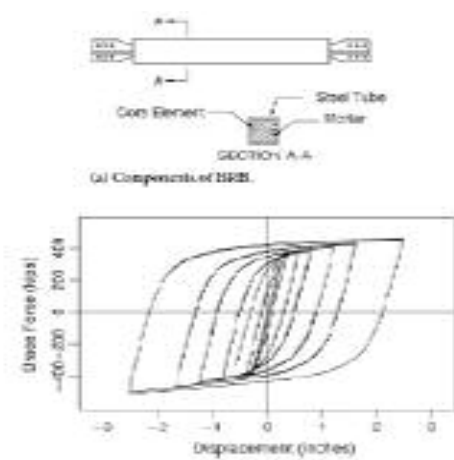
BRB یک سیستم جدید مقاوم در برابر بارهای جانبی در ایالت متحده می باشد که پس از زمین لرزه North Ridge که در سال ۱۹۹۴ در کالیفرنیا اتفاق افتاد مورد بررسی و تحقیق قرار گرفت و به سرعت برای استفاده در مناطق با لرزه خیزی بسیار زیاد مورد استفاده قرار گرفت [۱-۶]. سیستم BRBF با قاب های مهاربندی شده مرسوم تفاوت دارد و توانایی تسلیم در برابر فشار و کشش را بجای کمانش دارد. شکل ۱ (b) رفتار هیسترسیس مهاربند کمانش ناپذیر را نشان می دهد. آزمایشات و تحقیقات زیادی در مورد BRBFs در ۳۰ سال اخیر در ژاپن و دیگر کشورها صورت گرفت [۷].

در انواع رایج این نوع مهاربندها، یک فولاد قابل تسلیم به عنوان هسته توسط ملات پرکننده و یک فولاد تو خالی محبوس شده است که در شکل ۱ (a) نشان داده شده است. BRB بر این ایده استوار است که نیروی محوری تنها توسط هسته فولادی تحمل شود و ملات پرکننده و همچنین غلاف فولادی دورگیر

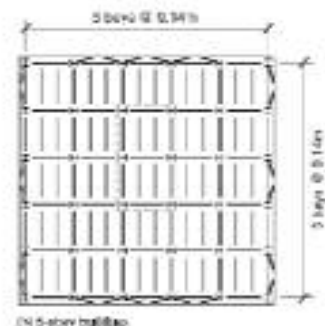
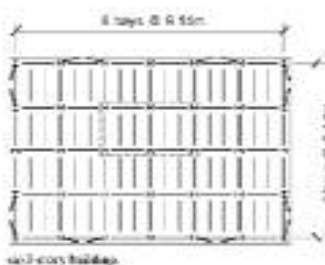
هیچ سهمی در تحمل نیرو نداشته باشد و فقط حمایت کننده رفتار پیوسته هسته در طول عضو باشند. با انجام این کار، هسته فولادی که بصورت دورگیر توسط ملات مهار شده ، بجای مقاومت بر اساس کمانش به مقاومت تا حد تسلیم دست می یابد. بنابراین به هسته فولادی اجازه تسلیم در برابر بارهای فشاری و کششی داده شده است. برای دستیابی به این رفتار، یک مرز لغزاننده یا شکاف بین هسته فولادی و ملات بایست تامین شود تا کمترین نیروی محوری توسط قفسه تحمل گردد. برای پیش زمینه بیشتر و کسب اطلاعات جامع از این سیستم منبع [۶] Uang و Nakashima را ببینید.

BRBFs برای طراحی لرزه ای بسیار مناسب بوده و همچنین موجب افزایش

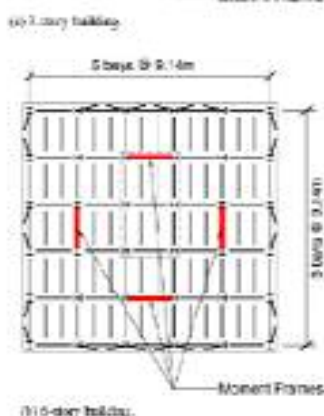
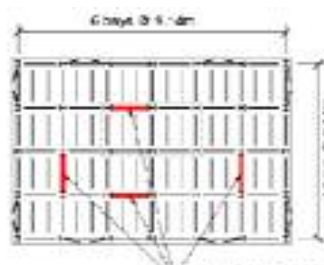
عملکرد شکل پذیری می شود. این رفتار BRBFs اجازه می دهد در تیرهای کوچک سیستم مهاربند شورون که نیروی قائم نا متعادل کننده در آن حاکم



شکل ۱- پاسخ هیسترسیس مهاربند کمانش ناپذیر



شکل ۲- پلان ساختمان های با سیستم BF



شکل ۳- پلان ساختمان های با سیستم دوگانه

است اجرا گردد [۸]، چرا که نیروی متعادل کننده تیر بین ۶ الی ۲۰ درصد نیروی فشاری و کششی تسلیم می باشد. پس می توان گفت نیروی نا متعادل وارد بر تیر در سیستم مهاربند ۷ و ۸ در سیستم کمناش ناپذیر وجود ندارد [۹]. وزن فولاد مصرفی سیستم BRBF، نسبت به فولادی که در سیستم قاب مقاوم خمشی ویژه که بر اساس UBC طرح می گردد ۵۰ درصد کمتر است. [۱۰]. ماکسیمم تغییر مکان نسبی در این سیستم ۵۰ تا ۷۰ درصد کمتر از سیستم قاب خمشی ویژه (SMRFs) براساس آنالیز پوش آور (Push Over) استاتیکی می باشد.

BRBFs رفتار مناسب در اتلاف انرژی از خود نشان داده است. کاهش سختی پس از تسلیم در مهاربندها [در شکل ۱ ببینید] با ایجاد تغییر مکان نسبی ماکسیمم و پسماند باعث آسیب پذیری سیستم می گردد. در یک تحقیق بر روی عملکرد سیستم BRBF گزارش شد که تغییر مکان نسبی پسماند حدودا ۴۰ الی ۶۰ درصد تغییر مکان نسبی ماکسیمم است. این تحقیق باعث ایجاد مشکلات برای مالکین ساختمان هایی شده که خواستار کمترین هزینه ترمیم سازه پس از وقوع زمین لرزه هستند.

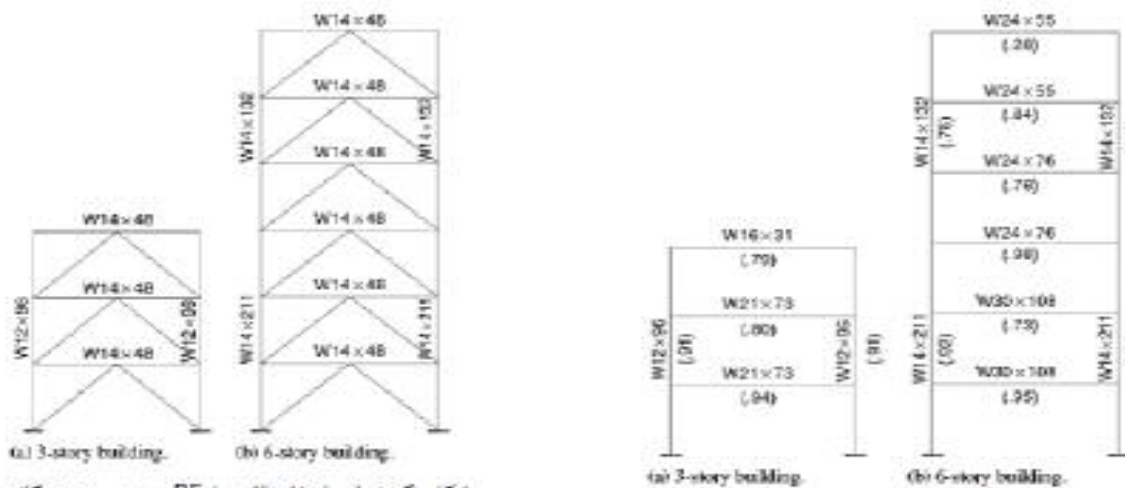
۲- هدف و چشم انداز

وقتی که تنها از یک سیستم مقاوم جانبی استفاده می شود، سیستم BRBF از دسته سیستم هایی است که توسط UBC [۱۰] و UBC [۱۱] اجازه به آن داده شده است. BRBFs می تواند به همراه سیستم قاب خمشی ویژه به صورت دوگانه مورد استفاده قرار گیرد. موضوع این تحقیق بررسی و ارزیابی استفاده از BRBF به عنوان سیستم پشتیبان در سیستم قاب خمشی می باشد که تقویت مکانیسم انتقال نیرو را به عهده دارد. سیستم دوگانه باعث کاهش تغییر شکل پسماند می گردد. این تحقیق قصد تشریح بخش مهم کار Sabelli را دارد [۶].

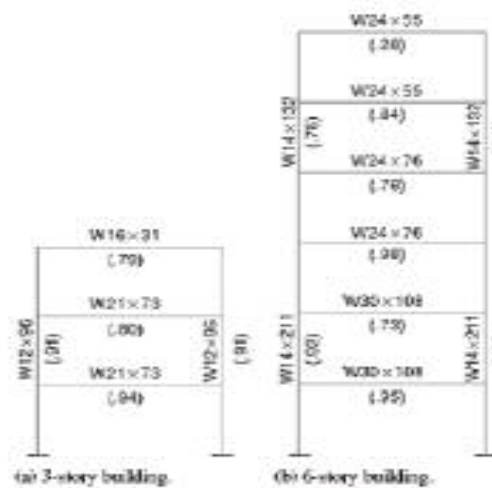
BRBFs طراحی شده توسط Sabelli طبق بخش UBC 1629.6.3 یا IBC 1602 به عنوان سیستم مقاوم لرزه ای سازه طبقه بندی شده بودند. قاب خمشی برای سیستم دوگانه در این بررسی طراحی شد و سیستم دوگانه با تعاریف بخش UBC 1629.6.3 یا IBC 1602 همخوانی و توافق داشتند.

۳- مدل های ساختمان

برای دو ساختمان ۳ طبقه و ۶ طبقه با سیستم قاب خمشی دو نمونه مناسب 3vb2 و 6vb2 طراحی شد [۶]. فرض شد این سازه ها در قسمت مرکزی لس آنجلس در منطقه ای با طبقه بندی D قرار گرفته اند. طیف شتاب طرح در مدت کوتاه (SDS) و یک ثانیه (SD_1) برابر با 1.39 g و 0.77 g بودند. شکل ۲ و ۳ پلان دو ساختمان و دو سیستم قاب خمشی ساز (BF) و سیستم دو گانه را نمایش می دهد. به استثنای طبقه اول سازه ۶ طبقه که 4.88 m ارتفاع دارد و دیگر طبقات 3.96 m ارتفاع دارند. R (فاکتور اصلاح پاسخ یا ضریب رفتار) BF، ۸ استفاده شد. ارتفاع سازه ۳ طبقه و ۶ طبقه برای سیستم قاب خمشی سازه ای (BF) طراحی شده در شکل ۴ نشان داده شده است که در آن اندازه مقاطع تیر و ستون هم نمایش داده شده است.



شکل ۴. نمای ارتفاع قاب با BF و سیستم دوگانه



شکل ۵. نمای ارتفاع قاب با سیستم خمشی ویژه در سیستم دوگانه

ظرفیت تسلیم BRBFs ها فقط برای حداقل مقاومت مورد نیاز طراحی شدند و دست بالا طرح نشدند. [۶]. جدول ۱ فهرست نیروی تسلیم مهاربندها و سختی محوری هر طبقه را نشان داده است که نیروی تسلیم بر اساس کشش می باشد.

R=8 همچنین برای بررسی طرح سیستم دوگانه مورد استفاده قرار گرفت. سیستم قاب خمشی ویژه (MRF) در سیستم دوگانه، بر اساس UBC [۱۰] و ویرایش لرزه ای AISC [۸] طرح گردید. قاب های خمشی برای مقاومت در مقابل حداقل ۲۵ درصد برش پایه طراحی شده بودند. در شکل ۳ محل

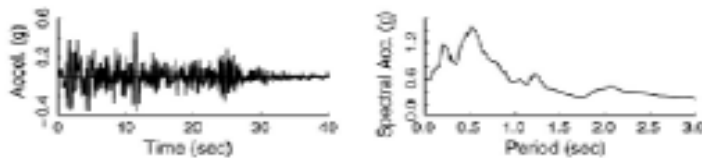
MRFs را مشاهده می کنید. در شکل ۵ اندازه اعضا و نسبت تقاضا به ظرفیت نشان داده شده است. این طراحی بر اساس کوچکترین مقطع مورد نیاز انتخاب شد.

۴- سوابق زمین لرزه

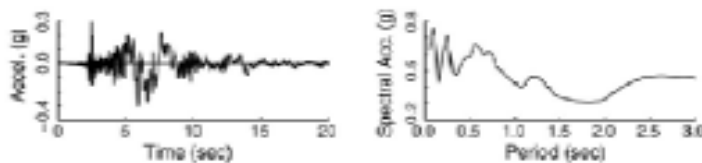
در این تحقیق به صورت فرضی حرکت زمین [۴] برای موقعیت مرکزی لس آنجلس در زلزله ای با احتمال رخداد ۱۰ درصد در طول ۵۰ سال عمر مفید سازه در نظر گرفته شد. ۲۰ رکورد گسل های موازی و ۱۰ رکورد گسل های در جهت قائم مورد استفاده قرار گرفت. گزینش رکورد بر اساس اثر توام فاصله - بزرگی فرضی در مرکز شهر لس آنجلس صورت گرفت. که شامل بزرگی زمین لرزه 7 یا فاصله کمتر از 5Km یا بزرگی 8 - 7.5 و فاصله کمتر از 50 Km می شد. بیشتر از رکورد گسل های نزدیک در انجام تحقیق استفاده شد، چرا که موجب تغییر شکل پسماند بزرگتر می شوند. در شکل ۶ چندین رکورد مورد استفاده در تحقیق را مشاهده می کنید.

جدول ۱. مقاومت و سختی تسلیم مهاربند

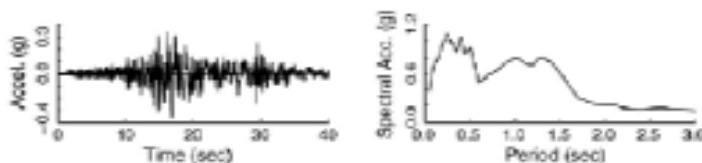
Building model	Story	Tensile strength (kN)	Axial stiffness (kN/cm)
3-story	3	520	1030
	2	872	1651
	1	1081	1905
6-story	6	391	799
	5	712	1419
	4	961	1881
	3	1161	2238
	2	1254	2482
	1	1699	2501



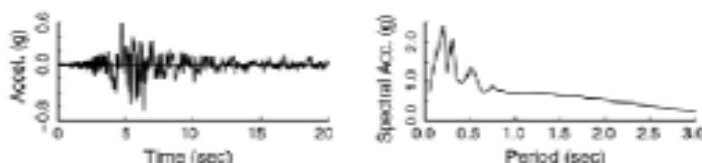
(a) LA01: 1940 El Centro earthquake.



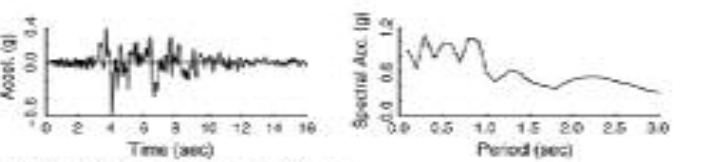
(b) LA05: 1979 Imperial earthquake, Array #06.



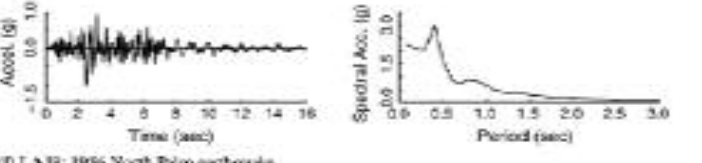
(c) LA10: 1992 Landers earthquake, Yermo.



(d) LA11: 1992 Loma Prieta earthquake, Gilroy.



(e) LA17: 1994 Northridge earthquake, Sylmar.



(f) LA19: 1986 North Palm earthquake.

شکل ۶. شتاب تاریخچه زمانی انتخابی براساس حرکت زمین

۵- روش آنالیز غیر خطی

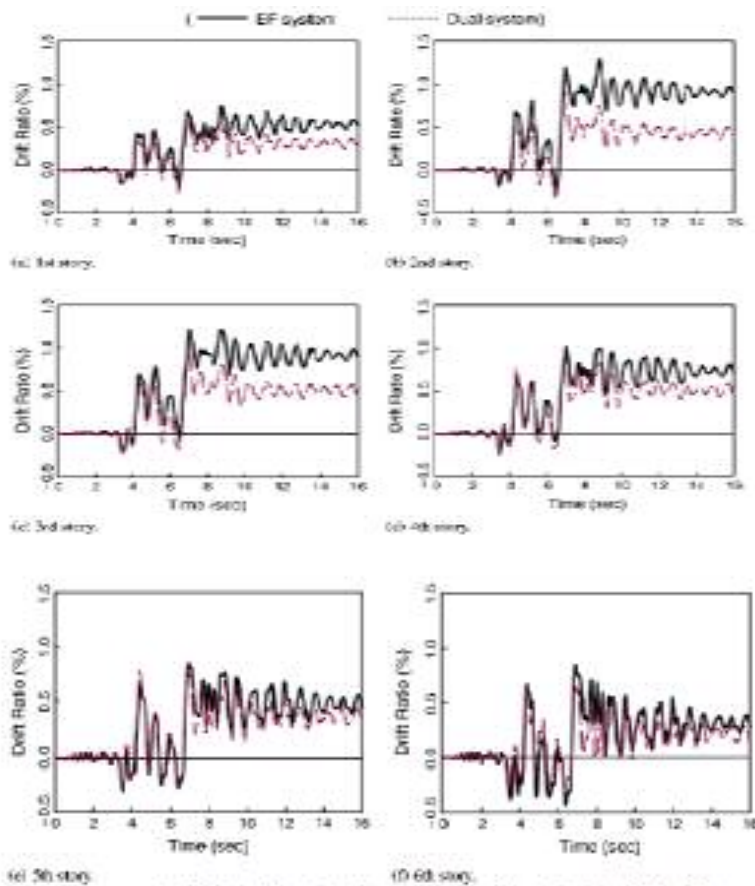
آنالیز تاریخچه زمانی غیرخطی با استفاده از برنامه کامپیوتری دو بعدی DRAIN-2DX [۱۳] انجام شد. به منظور تبدیل مدل سه بعدی به مدل دو بعدی، تنها یک قاب آنالیز شد. جرم موثر لرزه ای هر قاب بر اساس جداسازی جرم کل لرزه ای به تعداد کف ها و تعداد قاب ها محاسبه شد. در مدل سیستم دوگانه، مدل سه طبقه، دو برابر تعداد قاب BRB، قاب خمشی وجود دارد و مدل شش طبقه، سه برابر تعداد قاب BRB، قاب خمشی وجود دارد. بنابراین سختی و مقاومت قاب خمشی در دو مدل به ترتیب، به ۲ و ۳ تقسیم شد تا مدل سیستم دوگانه رفتار دقیق تری داشته باشد. تیر و ستون ها در برنامه کامپیوتری از نوع ۲ انتخاب شدند، یعنی المان هایی با نیروی داخلی محوری و خمشی، در حالی که مهاربندها در برنامه کامپیوتری از نوع ۱ انتخاب شدند، یعنی المان هایی با نیروی داخلی محوری. مقاومت فشاری مهاربند ها ۱۱۰ درصد مقاومت کششی آنها بوده است که در جدول ۱ نشان داده شده است. به صورت محافظه کارانه از کاهش سختی پس از تسلیم مهاربندها صرف نظر شده است.

همه گره های یک کف به صورت اجباری با یکدیگر در جهت افقی رفتار می کنند (کف صلب در نظر گرفته شد). برای بررسی تاثیر اتصال، اتصال تیر و ستون به صورت صلب در نظر گرفته شد. به منظور

لحاظ اثر P- Δ ، یک ستون در مجاور هر سیستم برای معادل کردن سختی ستون های خارج قاب در ساختمان در نظر گرفته شد که در **جدول ۲** نشان داده شده است. بار قائم این ستون ها بر اساس سطح بار گیر قاب در نظر گرفته شد. در مورد مدل سه طبقه یک چهارم کل بار ثقیلی و در مورد مدل شش طبقه یک ششم کل بار ثقیلی لحاظ شد.

۶- نتایج آنالیز

انجام آنالیز براساس پریود طبیعی برابر با نیمی از پریود طبیعی هر قاب صورت گرفت. جدول ۳ نشان می دهد که اضافه شدن سیستم BRBF به سیستم BF تنها کمی در پریود طبیعی تغییر ایجاد می کند. ضرایب رایلی میرایی α و β (به ترتیب نسبت جرم و نسبت سختی) براساس ۵ درصد میرایی بحرانی تعیین شدند. نمونه تاریخچه زمانی پاسخ تغییرمکان نسبی طبقه در شکل ۷ نشان داده شده است و از رکورد های LA17 می باشد که در زمین لرزه North Ridge ثبت شد. هر نمودار نشان



شکل ۷. تاریخچه زمانی تغییر مکان نسبی طبقه در ساختمان ۶ طبقه با BF و سیستم دوگانه (LA17-record)

دهنده مقایسه بین پاسخ سیستم BF و سیستم دوگانه است. شکل ۸ و ۹ به طور مختصر نسبت تغییر مکان پسماند و ماکسیمم هر ۲۰ حرکت زمین را نشان می دهد. به صورت نموداری مقایسه بین سیستم BF و سیستم دوگانه نشان داده شده است.

جدول ۲. مشخصات ستون قاب

Building model	I ($\times 10^6$ mm ⁴)	Z ($\times 10^6$ mm ²)
3-story	430	4.75
6-story	Upper half	359
	Lower half	989

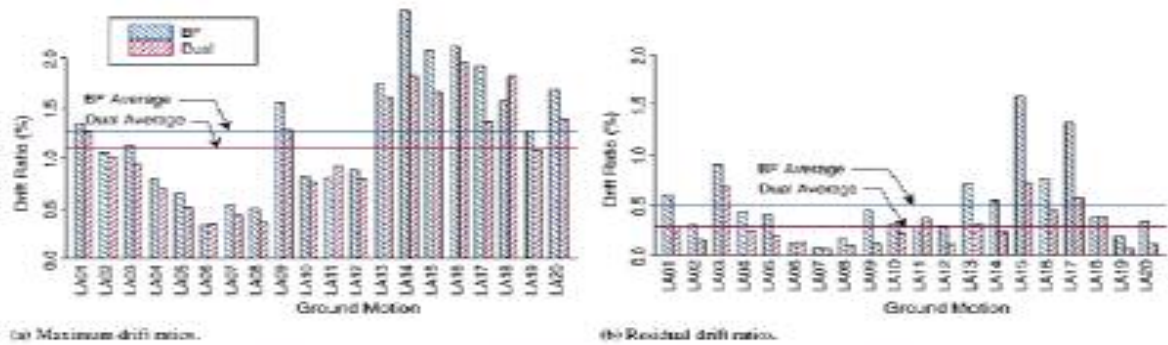
جدول ۳. پریود طبیعی و ضرایب میرایی رایلی در مدل ساختمان ها

Building model	T_1 (s)	T_2 (s)	α	β ($\times 10^{-2}$)	
3-story	BF system	0.50	0.29	0.90	2.2
	Dual system	0.49	0.19	0.93	2.2
6-story	BF system	0.77	0.29	0.59	3.3
	Dual system	0.74	0.27	0.62	3.2

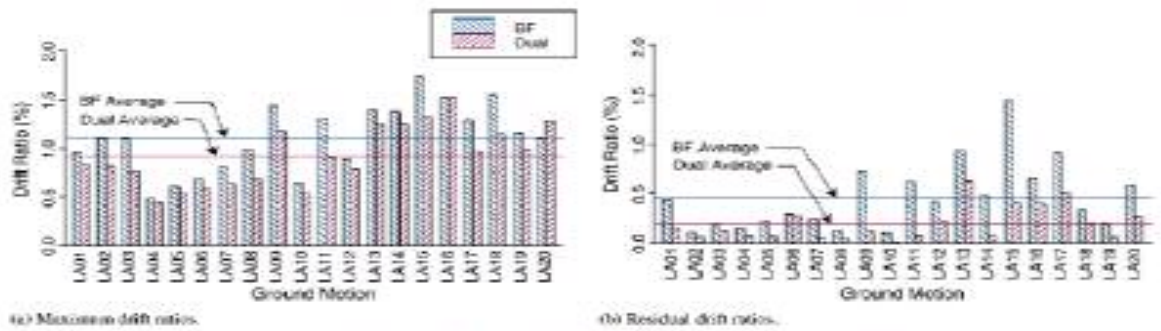
نمودار مقدار تغییر مکان نسبی پسماند و ماکسیمم در ارتفاع در **شکل ۱۰** مقایسه شده است و مقادیر نشان داده شده میانگین ۱۵ حرکت زمین هستند. سختی هر سازه با اضافه شدن سیستم پشتیبان (BRBF) تنها کمی تغییر کرد ولی بهبود نسبت تغییر مکان نسبی آشکار است که به سبب اضافه شدن سیستم پشتیبان می باشد. مقدار میانگین و انحراف معیار کمیت پاسخ به صورت مختصر در **جدول ۴** آماده شده است.

۷- ارزیابی آنالیز

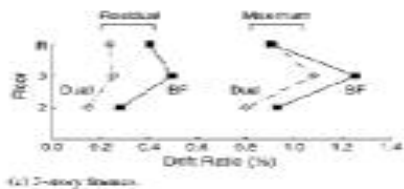
از نمودار **شکل ۱۰** می توان مشاهده نمود که رفتار تغییر مکان نسبی یک بهبود مناسب و مهم داشته است. در مورد ساختمان ۳ طبقه میانگین نسبت ماکسیمم تغییر مکان نسبی طبقه در سیستم BF، 0.0103 و در سیستم دوگانه 0.0093 می باشد که کاهش ۱۰ درصدی مشاهده می شود. در مورد ساختمان ۶ طبقه این کاهش نسبت ۱۲ درصد محاسبه شد و میانگین نسبت ماکسیمم تغییر مکان نسبی طبقه در سیستم BF، 0.0083 و در سیستم دوگانه 0.0073 می باشد. افزودن سیستم پشتیبان به سیستم BF کاهش تغییر مکان نسبی پسماند را هم نشان می دهد. جدول ۴ نشان می دهد که، در مورد ساختمان ۳ طبقه نسبت تغییر مکان نسبی پسماند در دو سیستم BF و دو گانه برابر با 0.0039 و 0.0021 و در مورد ساختمان ۶ طبقه 0.0029 و 0.0013 بوده است. **شکل ۱۱ (a) و (b)** رابطه بین شتاب (PSA)، تعیین شده بر اساس پریود اصلی هر قاب را در مقابل نسبت تغییر مکان



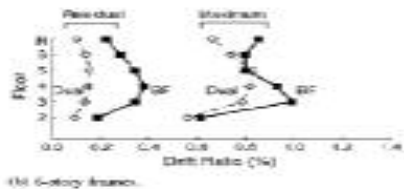
شکل ۸. نسبت تغییر مکان نسبی حداکثر و پسماند در ساختمان ۳ طبقه



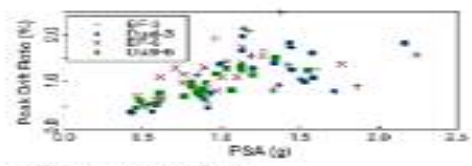
شکل ۹. نسبت تغییر مکان نسبی حداکثر و پسماند در ساختمان ۴ طبقه



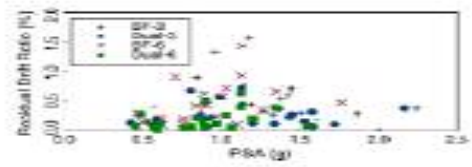
(a) 2-story frame.



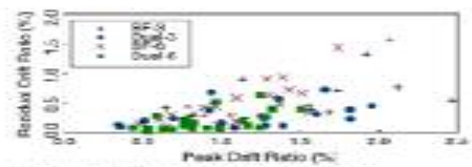
(b) 6-story frame.



(a) PSA vs. peak story drift ratio.



(b) PSA vs. residual story drift ratio.



(c) Peak story drift ratio vs. residual story drift ratio.

شکل ۱۱. رابطه بین ضریب شتاب و نسبت تغییر مکان نسبی

شکل ۱۰. نسبت تغییر مکان نسبی حداکثر و پسماند طبقه در ارتفاع ساختمان

نسبی طبقه نشان می دهد که رابطه وابستگی مثبت بین PSA و نسبت حداکثر تغییر مکان نسبی طبقه (PSD) وجود دارد. (شکل ۱۱ (a)). تمایل به کاهش نسبت تغییر مکان نسبی پسماند نیز در شکل ۱۱ (b) نشان داده شده است. اما تمایل به یک تغییر مکان نسبی بزرگ در تولید تغییر مکان نسبی پسماند در سیستم BF وجود دارد (شکل ۱۱ (c)). بهبود قابل توجه در شکل پذیری و ضریب افزایش تقاضای آشکارست. (در جدول ۴ ببینید). اگر چه در آزمایش های مکرر نشان داده شده است که ظرفیت شکل پذیری مهاربندی کمانش ناپذیر بسیار زیاد است.

۸- نتیجه گیری

استفاده از BRBFs به عنوان یک سیستم سازه ای، باعث تغییر مکان نسبی بسیار زیاد پس از کاهش سختی بعد از تسلیم مهاربند کمانش ناپذیر می گردد. برای کاهش تغییر مکان پسماند، این تحقیق و بررسی پیشنهاد می کند که BRBFs به عنوان یک گزینه در سیستم دوگانه مورد استفاده قرار می گیرد و به سیستم قاب خمشی ویژه (که تغییر مکان نسبی بزرگ در حالت الاستیک از خود نشان می دهد) اضافه گردد، تا به عنوان مکانسیم جذب نیرو در مرکز ساختمان در زمین لرزه کمک کند.

جدول ۴. مقدار حداکثر پاسخ در مدل های سیستم BF و دوگانه

Building model		Mean value and standard deviation			
		Maximum story drift ratio	Residual story drift ratio	Brace ductility factor	Cumulative ductility factor
3-story	BF system	0.0155 (0.0051)	0.0029 (0.0013)	4.9 (2.7)	22.4 (16.0)
	Dual system	0.0095 (0.0046)	0.0021 (0.0018)	4.5 (2.4)	21.7 (15.6)
6-story	BF system	0.0083 (0.0033)	0.0029 (0.0025)	3.5 (1.9)	16.4 (9.7)
	Dual system	0.0073 (0.0028)	0.0013 (0.0014)	3.0 (1.6)	14.8 (9.1)

با آنالیز ساختمان ۳ طبقه و ۶ طبقه، با سیستم BF و سیستم دوگانه که در معرض حرکت زمین تحت زمین لرزه قرار گرفتند، نتایج نشان می دهد که شکل پذیری تقاضا در مهاربند ها کمی کاهش می یابد. اگر چه نسبت ماکسیمم تغییر مکان نسبی به مقدار ۱۰ درصد و ۱۲ درصد کاهش می یابد. بیشترین اهمیت افزودن سیستم پشتیبان به قاب خمشی کاهش تغییر مکان نسبی پسماند طبقه است. کاهش تغییر مکان ماندگار، انگیزه ای برای طراحی این سیستم می باشد و همچنین تمایل به افزایش مقدار R در طراحی.

۹- منابع

- [1] Aiken ID, Mahin SA, Uriz P. Large-scale testing of buckling-restrained braced frames. In: Proceedings, the Japan passive control symposium. Japan: Tokyo Institute of Technology; 2002. p. 35–44.
- [2] Clark P, Aiken I, Kasai K, Ko E, Kimura J. Design procedures for buildings incorporating hysteretic damping devices. In: Proceedings, 69th annual convention. Sacramento (CA): SEAOC; 1999. p. 355–71.
- [3] L'opez WA. Design of unbonded braced frames. In: Proceedings, 70th annual convention. Sacramento (CA): SEAOC; 2001. p. 23–31.
- [4] Sabelli R, Mahin SA, Chang C. Seismic demands on steel braced-frame buildings with buckling-restrained braces. Engineering Structures 2003; 25:655–66.
- [5] Shuhaibar C, L'opez W, Sabelli R. Buckling-restrained braced frames. In: Proceedings, ATC-17-2, seminar on response modification technologies for performance-based seismic design. ATC and MCEER; 2002. p. 321–8.
- [6] Uang CM, Nakashima M. Steel buckling-restrained braced frames. In: Earthquake engineering: Recent advances and applications. Boca Raton (FL): CRC Press; 2003 [chapter 16].
- [7] L'opez WA, Sabelli R. Seismic design of buckling-restrained braced frames. In: Steel tips. Moraga (CA): Structural Steel Educational Council; 2004.
- [8] AISC. Seismic provisions for structural steel buildings. Chicago (IL): American Institute of Steel Construction; 2005.
- [9] Prasad BK. Current status of buckling-restrained braced frame design: currently available buckling-restrained braces. In: Proceedings, 72nd annual convention. Sacramento (CA): SEAOC; 2004. p. 493–500.
- [10] ICBO. Uniform building code. Whittier (CA): International Conference of Building Officials; 1997.
- [11] ICC. International building code. Whittier (CA): International Conference of Building Officials; 2003.
- [12] Somerville P et al., Development of ground motion time histories for Phase 2 of the FEMA/SAC steel project. Report no. SAC/BD-97/04. SAC Joint Venture, Sacramento (CA); 1997.
- [13] Prakash V, Powell GH, Campbell S. DRAIN-2DX: Base program and user guide. Report no. UCB/SES-93/17. Berkeley (CA): Department of Civil Engineering, University of California; 1993