

ارزیابی لرزهای قابهای فولادی با مهاربندهای ضد کمانش دارای هسته فولادی و هسته با مصالح آلیاژ حافظهدار شکلی

فتاح تجلى'، على گل افشار'*

۱– دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی سمنان، سمنان ۲– استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران * تهران، صندوق پستی ۱۳۹۵/۱۹۲۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۳) (تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۲۷، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۳)

چکیدہ

> **واژگان کلیدی** مهاربند ضد کمانش (کمانش تاب)، هسته فولادی، آلیاژحافظهدار شکلی، تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی

Evaluation of Steel Frames Equipped with Buckling Restrained Braces (BRB) with Steel Core and Shape Memory Alloy (SMA) core

F. Tajali, A. Golafshar

Abstract

Buckling Restrained Braced Frame (BRBF) is one of the earthquake resisting systems. In this system braces yield in tension and compression without buckling. One of the drawbacks of conventional BRBF with steel core is residual displacement in frames that are equipped with BRB at the end of earthquakes. For solution of this problem, in this paper BRB is used in the frames with Shape Memory Alloy (SMA) core because of stess-strian diagram of SMA shows small residual stain during cyclic loading. For evaluation of BRB with SMA core, 4 and 8 story 2D frames are selected and equipped with BRB that has steel core and BRB that has SMA core. Frames have been analyzed under Nonlinear Time History with three Earthquake Records. Assessment of results reveal that residual drifts of BRB frames with SMA core are decrease respect to BRB frames with steel core. Evaluation of the rest parameters like maximum lateral story displacement, maximum story drift ratio and maximum story shear shows that BRB frames with SMA core in most cases.

Keywords

BRB, Steel core, Shape memory alloy, Nonlinear time history analysis



۱– مقدمه

سیستم مهاربندهای ضد کمانش (کمانش تاب) به عنوان یکی از سیستمهای مقاوم لرزه ای میباشد که در اثر بارهای سیکلی رفتار متقارن و پایداری در کشش و فشار از خود نشان میدهد و به دلیل عدم کمانش مهاربند در فشار، قابلیت استهلاک انرژی در آنها نسبت به سیستم مهاربندهای متداول افزایش مییابد. از طرف دیگر، بررسی های انجام شده توسط Ariyaratana و Kiggins ، [۱] Fahnestock و Uma [۲]، النش [۳]، Mahdavipour و همکارانش [٤] نشان میدهد نقص بزرگ این سیستم، وجود تغییر شکلهای پسماند بزرگ در سازه در انتهای زلزله میباشد که علت آن سختی کم مهاربندها در ناحیه پس از تسلیم بوده و تغییر در مقدار سختی پس از تسلیم بر روی تغییر شکلهای پسماند سیستم اثر گذار است. اهمیت تغییر شکلهای پسماند نه تنها در سرویس دهی سازه پس از زلزله مهم است، بلکه مطالعات Garcia و Miranda [٥ و ٦] نشان میدهد مقدار تغییر شکلهای پسماند در رفتار لرزمای سازه تحت پس لرزهها نيز بسيار مهم خواهد بود.

در مطالعات انجام شده توسط Ariyaratana و Fahnestock [۱] مقدار نسبت تغییر مکان پسماند طبقات در سیستمهای دارای مهاربند ضد کمانش از طریق مطالعات عددی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج مطالعات آنها حاکی از آن است که مقدار تغییر مکان پسماند طبقات برای زلزلههای با احتمال وقوع ۱۰٪ در ۵۰ سال حدود ۰/۰٪ بوده و برای زلزلههای با احتمال وقوع ۲٪ در ۵۰ سال حدود ۱٪ میباشد. بررسی Fahnestock و همکارانش [۷] از طریق مطالعات آزمایشگاهی با استفاده از میز لرزه نشان میدهد در سیستمهای ضد کمانش نسبت تغییر مکان های پسماند برای زلزله های با احتمال وقوع ۱۰٪ در ۵۰ سال حدود ۱/۳٪ بوده و برای زلزلههای با احتمال وقوع ۲٪ در ۵۰ سال حدود ۲/۷٪ میباشد. یکی از راهکارهای پیشنهاد شده توسط محققین در این زمینه ترکیب سیستم مهاربند ضد کمانش به همراه سیستم مقاوم لرزهای دیگر و عملکرد آنها به صورت دوگانه میباشد. در همین زمینه مطالعات Kiggins و Uang [۲] برای قابهای ۳ و ۲ طبقه نشان میدهد استفاده از سیستم قاب خمشی ویژه به همراه سیستم مهاربندهای ضد كمانش موجب كاهش نسبت تغيير مكان پسماند طبقات تا ۰۰٪ می گردد. Marco و همکارانش [۸] در مطالعات خود از ترکیب سیستم قاب خمشی به همراه سیستم مهاربند ضد کمانش با سختی بزرگ پس از تسلیم با استفاده از جزییات خاص در

تیرها و اتصالات استفاده نمودند. بررسیهای Marco و همکارانش [۸] نشان میدهد تحت زلزلههای مختلف، میانگین نسبت تغییر مکانهای پسماند برای زلزلههای با احتمال وقوع ۱۰٪ در ۵۰ سال حدود ۲۰/۰۲٪ بوده و برای زلزلههای با احتمال وقوع ۲٪ در ۵۰ سال حدود ۰/۱۲٪ میباشد. ایده دیگر برای کاهش تغییر شکل های پسماند که توسط Boston [۹] و [۱۰] مورد بررسی قرار گرفته است، طراحی برخی از المانها به صورتی است که در زلزله در ناحیه الاستیک باقی مانده و بدین ترتیب موجب کاهش تغییر شکلهای پسماند در سیستم مهاربندهای ضد کمانش گردند. بطور نمونه یکی از راهکارهای پیشنهاد شده توسط Craft [۱۰] درنظر گیری برخی طبقات به صورت الاستیک در سیستم دارای مهاربندهای ضد کمانش می باشد که در همین زمینه پیشنهاد شده است برای ساختمان های بیش از ٦ طبقه بهتر است بین هر سه طبقه یک طبقه طوري طراحي گردد كه تحت زلزله در ناحيه الاستيك باقي بماند. بررسی روش پیشنهادی Craft برای قابهای ٤ الی ١٦ طبقه نشان مىدهد ميزان نسبت تغيير مكانهاى پسماند طبقات بین ۳٤٪ الی ٦٥٪ کاهش می یابد. با توجه به مطالب عنوان شده، هدف این پژوهش کاهش تغییر شکلهای پسماند در سیستم مهاربندهای ضد کمانش با استفاده از مصالح آلیاژ حافظهدار شكلي مي باشد.

۲- صحت سنجی

در این پژوهش برای انجام مدلسازی قابها و صحت سنجی از نرم افزار OPENSEES [۱۱] استفاده شده است. در این نرم افزار برای مدلسازی رفتار مصالح دارای آلیاژحافظهدار شکلی از گزینه برای مدلسازی رفتار مصالح دارای استفاده میگردد. منحنی رفتاری مصالح آلیاژ حافظهدار در شکل (۱) نشان داده شده است. برای درنظر گیری رفتار غیر خطی از قابلیت پلاستیسیته گسترده استفاده شده است.

برای اطمینان از مدلسازی و صحت سنجی از مطالعات Fugazza [۱۲] استفاده گردیده است. در این مطالعه یک المان مهاربند دو سر مفصل با مصالح آلیاژ حافظهدار شکلی تحت نیروهای محوری مورد ارزیابی قرار گرفته است. مشخصات رفتاری مصالح مورد استفاده در جدول (۱) نشان داده شده است. برای اطلاعات بیشتر این زمینه میتوان به مرجع شماره ۱۲ مراجعه نمود.





شکل ۱- منحنی رفتاری تنش-کرنش در مصالح آلیاژ حافظهدار شکلی

جدول ۱- مشخصات رفتاری مصالح آلیاژ حافظهدار در مدل

سنجى	ت

مقدار	واحد	خواص
7	MPa	E
٥٢٠	MPa	σ_s^{AS}
٦	MPa	σ_{f}^{AS}
75.	MPa	σ_s^{SA}
۲.,	MPa	σ_f^{SA}
٨	(%)	ε_L

منحنی رفتاری حاصل از مطالعات Fugazza در شکل (۲) و منحنی بدست آمده در این پژوهش با استفاده از نرم افزار OPENSEES در شکل (۳) نشان داده شده است.

مقایسه منحنیها تطابق مناسبی را بین نتایج مدلسازی عددی و نتایج مطالعه آزمایشگاهی نشان میدهد.



شکل ۲- منحنی بدست آمده از مطالعات Fugazza [۱۲]

۳- معرفی قابهای مورد مطالعه

قابهای مورد مطالعه در این تحقیق شامل قابهای دو بعدی ٤ و ۸ طبقه می باشند که مهاربندهای ضد کمانش دارای هسته



شکل ۳– منحنی بدست آمده در این پژوهش با استفاده از نرم افزار OPENSEES

فولادی برای کنترل تغییر مکانهای جانبی طبقات به آنها اضافه شده اند. پس از تعیین سطح مقطع مهاربندهای ضد کمانش با هسته فولادی، جهت بررسی اثر مهاربندهای ضد کمانش با مصالح آلیاژ حافظهدار شکلی، مهاربندهای ضد کمانش دارای هسته فولادی با مهاربندهای دارای مصالح آلیاژ حافظهدار شکلی با سطح مقطع یکسان جایگذاری شده اند. نمای قابهای مورد مطالعه در شکل (٤) و(٥) نشان داده شده است.

مقطع تیرها و ستونها و سطح مقطع مهاربندها در طبقات مختلف برای قاب ٤ و ۸ طبقه در جدولهای (۲) تا (٥) آورده شده است.



شکل ٤- نمای قاب ٤ طبقه مجهز به مهاربند ضد کمانش

جدول ۲- مقاطع تیرها و ستونها در قاب ٤ طبقه

مقدار	اعضا
IPE180	تيرها
BOX220X220X10	ستونهای طبقه اول و دوم
BOX200X200X10	ستون،های طبقه سوم و چهارم

جدول ۳- سطح مقطع مهاربندها در قاب ٤ طبقه

سطح مقطع مهاربند(سانتيمتر مربع)	شماره طبقه
٣.	او ۲
۲٥	۳و ٤





شکل ٥- نماي قاب ٨ طبقه مجهز به مهاربند ضد كمانش

جدول ٤ - مقاطع تيرها و ستونها در قاب ٨ طبقه

مقدار	اعضا
IPE220	تیرهای طبقه اول الی چهارم
IPE200	تیرهای طبقات چهارم الی هشتم
BOX300X300X10	ستونهای طبقه اول الی سوم
BOX250X250X10	ستون،های طبقه چهارم الی ششم
BOX200X200X10	ستون،های طبقه هفتم و هشتم

۸ طبقه	قاب	در	مهاربن <i>د</i> ها	مقطع	سطح	-0	جدول
--------	-----	----	--------------------	------	-----	----	------

سطح مقطع مهاربند(سانتيمتر مربع)	شماره طبقه
٣٤	۱ الی۳
٣.	٤ الى٦
۲٥	۷ و ۸

برای تحلیل غیر خطی قابها، مدل قابها در نرم افزار OPENSEES ساخته شده است. جهت مدلسازی رفتار مصالح تیرها و ستونها از گزینه UniaxialMaterial Steel01 استفاده شده است. مدل رفتاری مربوط به گزینه Steel01 در شکل (٦) نشان داده شده است. مشخصات مصالح فولاد تیرها و ستونها در جدول (٦) آمده است. در قابهایی که جنس هسته مهاربند از فولاد می باشد، مشخصات مصالح مهاربندها نیز همانند تیرها و ستونها می باشد و در قابهایی که جنس هسته مهاربند از مصالح آلیاژ حافظهدار شکلی می باشد، مشخصات مورد استفاده برای مصالح آلیاژ حافظهدار شکلی مطابق جدول (۷) می باشد.

گیری رفتار غیر خطی از پلاستیسیته گسترده در المانها استفاده گردیده است.



شکل ٦- مدل رفتاري مصالح فولاد معمولي [١١]

جدول ٦ - مشخصات مصالح فولاد معمولي			
مقدار	واحد	خواص	
7	MPa	E_0	
٢٤.	MPa	$F_{ m y}$	
•		b	

جدول ۷- مشخصات رفتاری مصالح آلیاژ حافظهدار در قابهای

٤ و ٨ طبقه				
مقدار	واحد	خواص		
70009	MPa	Ε		
٤١٤	MPa	σ_s^{AS}		
00+	MPa	σ_{f}^{AS}		
٣٩٠	MPa	σ_s^{SA}		
۲	MPa	σ_{f}^{SA}		
٣/٥	(%)	\mathcal{E}_L		

٤- تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی

در این پژوهش از سه رکورد نزدیک به گسل منتخب از مطالعات Baker [۱۳] استفاده شده که این رکوردها بر روی خاک تیپ ۲ با سرعت موج برشی بین ۳۷۵ و ۷۰۰ متر بر ثانیه ثبت شده اند. مشخصات زلزلههای مورد استفاده در جدول (۸) نشان داده شده است. رکوردهای مذکور بر اساس شتاب حداکثر برابر با ۲۳/۰ نرمال شده و به سازهها اعمال شدهاند.



جدول ۸- مشخصات رکوردهای اعمالی در تحلیل تاریخچه زمانی

غير خطي					
PGD (cm)	PGV (cm/s)	PGA (g)	ايستگاه	زلزله	
٣٩	112/0	١/٢	پاکويما دم	سانفرناندو	
۱/۱۳	٦/٨٤	•/\٨	گیلوری آلی	كويوت ليك	
1 Y/V	٥٢/٩	۰/۷۱	کوله غربی دم	مرگان هيل	

٥- ارزیابی نتایج قابهای ٤ طبقه

جهت ارزیابی پاسخ قابها، پارامترهای مختلفی در قابها تحت اثر زلزلههای اعمالی مورد بررسی واقع شده اند. تغییر مکان جانبی حداکثر طبقات در قاب ٤ طبقه در شکلهای (۷) تا (۹) نشان داده شده است.





شکل ۹- تغییر مکان جانبی حداکثر طبقات در قاب ٤ طبقه دارای مهاربند ضدکمانش با هسته فولادی و هسته دارای مصالح آلیاژ حافظهدار تحت زلزله مرگان هیل

برش حداکثر طبقات در شکلهای (۱۰) تا (۱۲)، نسبت تغییر مکان حداکثر طبقات در شکلهای (۱۳) تا (۱۵) و نسبت تغییر مکان پسماند طبقات در شکلهای (۱۲) تا (۱۸) نشان داده شده است.

ارزیابی تغییر مکان جانبی حداکثر طبقات برای قاب ٤ طبقه نشاندهنده روند یکسانی در تمامیزلزلهها نبوده ولی در اکثر موارد، تغییر مکان جانبی حداکثر طبقات در قاب دارای مهاربند ضد کمانش با هسته مصالح آلیاژ حافظهدار شکلی نسبت به قاب دارای مهاربند ضدکمانش با هسته فولادی بیشتر میباشد که از علل ان میتواند مرتبط با تفاوت سختی در دو قاب مهاربندی به علت تفاوت در خواص مصالح فولاد و آلیاژ حافظهدار شکلی در ناحیه خطی و غیر خطی باشد.







۲۹۲ نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد

30000



ارزیابی نسبت تغییر مکان پسماند طبقات برای قاب ٤ طبقه نشان می دهد همواره قاب دارای مهاربند ضدکمانش با هسته دارای آلیاز حافظهدار شکلی دارای نسبت تغییر مکان پسماند کمتری نسبت به قاب دارای مهاربند ضدکمانش با هسته فولادی می باشد که علت آن ویژگی رفتاری مصالح آلیاژ حافظهدار شکلی در وضعیت باربرداری می باشد که دارای تغییر شکل های پسماند نزدیک به صفر در این حالت می باشد.

۲- ارزیابی نتایج قابهای ۸ طبقه

مشابه قابهای ٤ طبقه، برای قابهای ۸ طبقه نیز، تغییر مکان جانبی حداکثر طبقات در شکلهای (۱۹) تا (۲۱)، برش حداکثر طبقات در شکلهای (۲۲) تا (۲٤)، نسبت تغییر مکان حداکثر







می ۲۰۰ صییر مانی بایی عدم طبعات در یک ۲۰ طبعا داری مهاربند ضدکمانش با هسته فولادی و هسته دارای مصالح آلیاژ حافظهدار تحت زلزله کویوت لیک





شکل ۲۱ - تغییر مکان جانبی حداکثر طبقات در قاب ۸ طبقه دارای مهاربند ضدکمانش با هسته فولادی و هسته دارای مصالح اَلیاژ حافظهدار تحت زلزله مورگان هیل



ارزیابی تغییر مکان جانبی حداکثر طبقات برای قاب ۸ طبقه نشاندهنده روند یکسانی در تمامی زلزلهها نبوده ولی مشابه قاب ٤ طبقه در اکثر موارد، تغییر مکان جانبی حداکثر طبقات در قاب دارای مهاربند ضد کمانش با هسته مصالح آلیاژ حافظهدار شکلی نسبت به قاب دارای مهاربند ضدکمانش با هسته فولادی بیشتر میباشد که از علل ان میتواند مرتبط با تفاوت سختی در دو قاب مهاربندی به علت تفاوت در خواص مصالح فولاد و آلیاژ حافظهدار شکلی در ناحیه خطی و غیر خطی باشد.



صدکمانش با هسته فولادی و هسته دارای مصالح آلیاژ حافظهدار تحت زلزله کویوت لیک







مهاربند ضدکمانش با هسته فولادی و هسته دارای مصالح اَلیاژ حافظهدار تحت زلزله سانفرناندو



ارزیابی برش پایه حداکثر طبقات برای قاب ۸ طبقه نشاندهنده روند یکسانی در تمامی زلزلهها نبوده و با روند قاب ٤ طبقه نیز متفاوت میباشد بطوریکه در اکثر موارد برش حداکثر طبقات در قاب دارای مهاربند ضد کمانش با هسته مصالح آلیاژ حافظهدار شکلی نسبت به قاب دارای مهاربند ضد کمانش با هسته فولادی بیشتر میباشد ولی برای طبقه اول، برش حداکثر طبقه در قاب با مهاربندی ضد کمانش با هسته مصالح آلیاژ حافظهدار شکلی کمتر از قاب دارای مهاربند ضد كمانش با هسته فولادي مي باشد.



شکل ۲۹- نسبت تغییر مکان حداکثر طبقات در قاب ۸ طبقه دارای مهاربند ضدكمانش با هسته فولادي و هسته داراي مصالح آلياژ حافظهدار تحت زلزله كويوت ليك





ارزیابی نسبت تغییر مکان حداکثر طبقات برای قاب ۸ طبقه نشاندهنده روند یکسانی در تمامی زلزلهها نبوده و برای زلزلههای مختلف تفاوتها بین دو قاب دارای مهاربندی مشهود است ولكن استفاده از مصالح داراي آلياژ حافظهدار



شکلی موجب نزدیک تر شدن نسبت تغییر مکان حداکثر در طبقات مختلف شده است.



شکل ۲۸- نسبت تغییر مکان پسماند طبقات در قاب ۸ طبقه دارای مهاربند ضدكمانش با هسته فولادي و هسته داراي مصالح





شکل ۲۹- نسبت تغییر مکان پسماند طبقات در قاب ۸ طبقه دارای مهاربند ضدکمانش با هسته فولادی و هسته دارای مصالح آلياژ حافظدار تحت زلزله كويوت ليك

ارزیابی نسبت تغییر مکان پسماند طبقات برای قاب ۸ طبقه نشان میدهد همواره قاب دارای مهاربند ضدکمانش با هسته دارای آلیاز حافظهدار شکلی دارای نسبت تغییر مکان پسماند كمترى نسبت به قاب داراى مهاربند ضدكمانش با هسته فولادى ميباشد كه علت ان ويژگی رفتاری مصالح آلياژ حافظهدار شكلی در وضعیت بار سیکلی میباشد که دارای تغییر شکل های یسماند نزدیک به صفر در وضعیت باربرداری میباشد. همچنین میزان نسبت تغییر مکان پسماند طبقات در هنگام استفاده از مصالح آلیاژ حافظهدار شکلی بسیار کوچک بوده و به یکدیگر نزدیک مىباشد.



شکل ۳۰– نسبت تغییر مکان پسماند طبقات در قاب ۸ طبقه دارای مهاربند ضدکمانش با هسته فولادی و هسته دارای مصالح آلیاژ حافظهدار تحت زلزله مرگان هیل

۷- نتیجه گیری

در این مقاله کاربرد استفاده از مصالح آلیاژ حافظهدار شکلی به عنوان هسته در مهاربندهای ضد کمانش برای کاهش تغییر شکلهای پسماند در قابهای فولادی کوتاه و میان مرتبه ٤ و ٨ طبقه مورد ارزیابی قرار گرفته و با قابهای دارای مهاربند ضد کمانش با هسته فولادی مقایسه شده است. ارزیابی قابها از طريق انجام تحليل هاى تاريخچه زماني غير خطى صورت گرفته و پارامترهای متفاوتی در مورد قابها مقایسه و بررسی شده است. ارزیابی نتایج نشاندهنده وابستگی نتایج به زلزلههای اعمالی و خواص هندسی قابها و رفتار مصالح مهاربندها در قابها می باشد. در قابهای ٤ طبقه دارای مهاربند ضد کمانش با هسته فولادي، ميزان تغيير مكان حداكثر بام در زلزله سانفرناندو و کویوت لیک نسبت به مهاربند ضد کمانش با هسته دارای آلیاژ حافظهدار شکلی به ترتیب ۵۷ و ۳۲ درصد کاهش نشان داده و برای زلزله مرگان هیل تقریباً با یکدیگر برابر هستند. همچنین میزان حداکثر برش پایه در قابهای ٤ طبقه دارای مهاربند ضد کمانش با هسته فولادی نسبت به هسته دارای آلیاژ حافظهدار شکلی در زلزله های سانفرناندو، کویوت لیک و مرگان هیل به ترتیب ۷٤ در صد، ۵۹ درصد و ٤٦ درصد کاهش نشان داده است. همچنین حداکثر نسبت تغییر مکان طبقات در قاب ٤ طبقه مجهز به مهاریند ضد کمانش با هسته فولادی نسبت به هسته دارای مصالح آلیاژ حافظهدار شکلی برای زلزلههای سانفرناندو، کویوت لیک و مرگان هیل به ترتیب ۲/٦، ۹/٤ و ۷/٤ درصد كاهش نشان مىدهد. نسبت تغيير مكان پسماند حداكثر طبقات در قاب ٤ طبقه مجهز به مهاربند ضد كمانش با هسته داراي آلياژ

حافظهدار شکلی نسبت به هسته فولادی برای زلزله های سانفرناندو، کویوت لیک و مرگان هیل به ترتیب ۲۸، ۷۰ و ۷۵ درصد کاهش نشان میدهد.

در قابهای ۸ طبقه دارای مهاربند ضد کمانش با هسته فولادی، میزان تغییر مکان حداکثر بام در زلزله سانفرناندو، کویوت لیک و مرگان هیل نسبت به مهاربند ضد کمانش با هسته دارای آلیاژ حافظهدار شکلی به ترتیب ۳۹ درصد کاهش، ۳۷ درصد افزایش و ۹ درصد کاهش نشان داده است. همچنین میزان حداکثر برش پایه در قابهای ۸ طبقه دارای مهاربند ضد کمانش با هسته فولادی نسبت به هسته دارای آلیاژ حافظهدار شکلی در زلزلههای سانفرناندو، کویوت لیک و مرگان هیل به ترتیب ٤٦٠ درصد، ٢٧ درصد و ٧٠ درصد افزایش نشان داده است. همچنین حداکثر نسبت تغییر مکان طبقات در قاب ۸ طبقه مجهز به مهاریند ضد کمانش با هسته فولادی نسبت به هسته دارای مصالح آلیاژ حافظهدار شکلی برای زلزلههای سانفرناندو، کویوت لیک و مرگان هیل به ترتیب ۱۱ درصد کاهش و ۱۹/۵ و ۹ درصد افزایش نشان میدهد. نسبت تغییر مکان پسماند حداکثر طبقات در قاب ۸ طبقه مجهز به مهاربند ضد کمانش با هسته دارای آلیاژ حافظهدار شکلی نسبت به هسته فولادی برای زلزلههای سانفرناندو، کویوت لیک و مرگان هیل به ترتیب ۸٦، ۸٦ و ۸۵ درصد کاهش نشان می دهد.

بطور کلی استفاده از مصالح آلیاژ حافظهدار شکلی در هسته مهاربندهای ضد کمانش در زلزلههای مختلف و برای قابهای مورد مطالعه موجب کاهش نسبت تغییر مکانهای پسماند و یکنواخت شدن آن در انتهای زلزله نسبت به مهاربند با هسته فولادی شده است. بررسی برش پایه حداکثر طبقات نشان میدهد در قاب ٤ طبقه مقدار برش حداکثر طبقات در قاب دارای مهاربند ضدکمانش با هسته مصالح آلیاژ حافظهدار شکلی بیش از قاب دارای مهاربند ضد کمانش با هسته فولادی بوده ولی در قاب ۸ طبقه عکس این روند مشاهده میگردد. بررسی نسبت تغییر مکان حداکثر طبقات نیز در قابهای مختلف نشاندهنده روند يكساني نبوده اما ميتوان بيان نمود كه استفاده ازمصالح آلیاژ حافظهدار شکلی به یکنواخت تر شدن نسبت تغيير مكان حداكثر طبقات كمك مىنمايد. بررسى تغيير مكان جانبی حداکثر طبقات برای قابهای مورد مطالعه تحت رکورد زلزلههای اعمالی نیز نشان میدهد در اکثر موارد قابهای دارای مهاربند ضد كمانش با هسته از جنس مصالح آلياژ حافظهدار شکلی دارای تغییر مکانهای حداکثر بیشتری نسبت به قاب متناظر با مهاربند ضد كمانش با هسته فولادي مي باشد.



- Ariyaratana, C. and Fahnestock, L.A. (2011), "Evaluation of Buckling-Restrained Braced Frame Seismic Performance Considering Reserve Strength", Engineering Structures, Vol. 33, No. 1, pp. 77-89.
- [2] Kiggins, S. and Uang, C.M. (2006), "Reducing Residual Drift of Bckling-Restrained Braced Frames as a Dual System", Engineering Structures, Vol. 28, No. 11, pp. 1525-1532.
- [3] Uma, S.R., Pampanin, S. and Christopoulos, C. (2006), "A Probabilistic Framework for Performance-Based Seismic Assessment of Structures Considering Residual Deformations", First European conference on earthquake engineering and seismology, Geneva, Switzerland.
- [4] Mahdavipour, M.A. and Deylami, A. (2014), "Probabilistic Assessment of Strain Hardening Ratio Effect on Residual Deformation Demands of Buckling-Restrained Braced Frames", Engineering Structures, Vol. 81, pp. 302-308.
- [5] Ruiz-Garcia, J. and Miranda, E. (2005), "Performance-Based Assessment of Existing Structures Accounting for Residual Displacements", Department of Civil and Environmental Engineering Stanford University, Report No. 153.
- [6] Ruiz-Garcia, J. and Miranda, E. (2010), "Probabilistic Estimation of Residual Drift Demands for Seismic Assessment of Multi-Story Framed Buildings", Engineering Structures, Vol. 32, No. 1, pp. 11-20.
- [7] Fahnestock, L.A., Sause, R. and Ricles, J.M. (2007), "Experimental Evaluation of a Large-Scale Buckling-Restrained Braced Frame", Journal of Structural Engineering, Vol. 133, No. 9, pp. 1205-1214.
- [8] Baiguera, M., Vasdravellis, G. and Karavasilis, T.L. (2016), "Dual Seismic-Resistant Steel Frame with High Post-Yield Stiffness Energy-Dissipative Braces for Residual Drift Reduction", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 122, pp. 198-212.
- [9] Boston, M. (2012), "Reducing Residual Drift in Buckling-Restrained Braced Frames by Using Gravity Columns as Part of a Dual System," MSc Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering Brigham Young University.
- [10] Craft, J. (2012), "Reducing Drifts in Buckling Restrained Braced Frames Through Elastic Stories," MSc Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering Brigham Young University.
- [11] Mazzoni, S., McKenna, F. (2012), Opensees Command Language Manual.
- [12] Fugazza, D. (2003), "Shape Memory Alloy Devices in Earthquake Engineering: Mechanical Properties, Constitutive Modeling and Numerical simulation," MSc Thesis, European School of Advanced Structures in Reduction of Seismic Risk.
- [13] Baker, J. (2007), "Quantitative Classification of Near-Fault Ground Motions Using Wavelet Analysis, Bulletin of the Seismological Society of America", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 97, No. 5, pp. 1468-1501.

