ارزیابی عملکرد لرزهای سازههای فولادی مجهز به مهاربندهای ترکیبی فولاد-آلیاژ حافظهدار شکلی

محمد هوشمند، کارشناسارشد مهندسی عمران- سازه- دانشگاه صنعتی سهند تبریز، تبریز، ایران بهزاد رافضی، عضو هیأتعلمی دانشکده مهندسی عمران- دانشگاه صنعتی سهند تبریز، تبریز، ایران جعفر خلیل علافی، عضو هیأتعلمی دانشکده مهندسی مواد- دانشگاه صنعتی سهند تبریز، تبریز، ایران

> M_Hooshmand@sut.ac.ir ۳۴/۱۰/۱ تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۲۸ تاریخ پذیرش نهایی:

چکیدہ:

در این مقاله به بررسی رفتار لرزهای مهاریندهای ترکیبی از جنس فولاد و آلیاژهای حافظهدار شکلی پرداخته شده است. جهت بررسی از شش مدل مهاربند ترکیبی با میزان مصرف آلیاژ حافظهدار شکلی با معیار طول به ترتیب صفر ، ۲۰ ، ۴۰ ، ۶۰ ، ۸۰ و ۱۰۰ درصد از طول کل استفاده شده است. ارزیابی مدلها به کمک تحلیل دینامیکی غیر خطی تحت زلزله السنترو مقیاس شده با شتابهای حداکثر 0.6g و 0.9g در نرم افزار ANSYS v11 انجام گرفته است. نتایج مطالعات انجام شده مقادیر طولی بهینه برای درصد مهاربند ترکیبی را مشخص میکند بطوریکه می توان با استفاده از مقادیر پیشنهادی و طرح ارائه شده، سازههایی بار رفتار لرزهای مناسب و با هزینه ساخت قابل توجیه طراحی و اجرا نمود.

كليد واژگان: آلياژهاي حافظهدار شكلي، ميراگر، تحليل ديناميكي غيرخطي، ANSYS v11 ، زلزله السنترو

۱-مقدمه

در سالهای اخیر تحقیقات متعددی در مورد کاربردهای آلیاژهای حافظ مدار شکلی (Shape Memory Alloys) در مهندسی عمران صورت گرفته است که از جمله میتوان به سیستمهای جداگر لرزهای ارو۲]، میراگرهای انرژی در ساختمانها [۳و۴]، میراگرهای انرژی در پلها [۵و۶]، مقاومسازی سازههای بنایی و تاریخی [۷]، استفاده بصورت میلگرد در سازههای بتنی [۸–۱۰]، اتصالات سازهای کاربردهای آلیاژهای حافظهدار شکلی در مهندسی سازه، استفاده این مواد بصورت مهاربند در سازههاست چرا که به دلیل دارا بودن خصوصیات منحصر بفرد خود از قبیل خاصیت فوق ارتجاعی و خاصیت حافظه شکلی، قابلیت بازگردانندگی سازه به حالت اولیه^۱ و

قابلیت استهلاک انرژی بالا را فراهم میکنند[۱۴–۱۶].

۲-آلیاژهای حافظه دار شکلی

آلیاژ حافظه دار بـه آلیـاژی گفتـه مـیشـود كـه پـس از اعمـال تغییرشكل زیاد روی آن، توانائی به خاطر آوردن شـكل قبلـی خـود را داشته باشد.

۳-تاريخچه

درسال ۱۹۳۲ ۱۹۳۲، دانشمند سوئدی، برای نخستین بار رفتار فوق ارتجاعی^۲ را در Au-Cd کشف کرد[۱۷]. سپس در سال ۱۹۳۸ و Mooridan وابستگی فاز مارتنزیت به دما را کشف Au-Cd و Chang در سال ۱۹۵۱، و Chang در آلیاژ Au-Cd

¹⁻Recentering

^{2 -} Superelastic

تبدیل فاز برگشت یذیر را کشف کردند که اولین تبدیل فاز ثبت شده میباشد. در سال ۱۹۶۲، بوهلر و همکاران درآزمایشگاه تسلیحات نیروی دریایی امریکا^۳ اثر حافظه شکلی^۴ را در آلیاژ نیکـل- تیتانیوم کشف کرده و این آلیاژ را نایتینول^۵ نامیدند [۱۸]

تا كنون إنواع مختلف آلياژهاي حافظهدار شكلي شناخته شدهاند كه در این میانNi-Ti یا همان نایتینول نسبت به بقیه شاخته شده تر میباشد و در کاربردهای مهندسی بیشتر به کار رفته است.

در این مقاله آلیاژهای حافظهدار شکلی بطور اختصار SMA نیز گفته شده است.

۴-آلياژ نيكل - تيتانيوم

آلیاژ دو تایی Ni-Ti (نایتینول) و سه تایی Ni-Ti-X (ناماد یک عنصر است) از مهمترین آلیاژهای حافظهدار شکلی هستند که بیشترین تحقیقات بر روی آنها انجام شده است و بر این اساس كاربردهای بیشتری نسبت به بقیهٔ آلیاژهای حافظ مدار شکلی دارنـد. نايتينول براساس تركيب اتمى تقريباً مساوى نيكل وتيتانيوم ساخته می شود و معمولاً درصد نیکل در حدود ۵۱٪-۴۹٪ متغیر می باشد [۱۹]. شبکه کریستالی نایتینول در فاز آستنیت بصورت B2 شکل (۱) و در فاز مارتنزیت بصورت 'B19 شکل (۲) می باشد. همچنین یک فاز میانی مارتنزیتی، بنام فاز R، تحت شرایط خاصبی در آلیاژ می تواند بوجود آيد[٢٠].



۶-صحت سنجی بر روی یک قاب سه طبقه در نرم افزار ANSYS

همانطوريكه قبلاً گفته شده، اين مقاله به دنبال يک مهاربند ترکیبی از جنس SMA و فولاد می باشد. به همین دلیل صحت سنجی بر روی یک سازه فولادی دارای مهاربند انجام شده است که این سازه توسط کاری با نرم افزار AIMS مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است [۲۳]. در ادامه به این سازه و نتایج آن اشاره می گردد.

سازه بررسی شده، یک سازه سه طبقه است که توسط sabelli پیشنهاد شده است. با فرض تقارن در پلان تنها یک قاب دو بعدی از سازه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. ارتفاع هر طبقه ۳/۹۶ متر بوده و پلان سازه ۹/۱۴ در ۹/۱۴ متر می باشد [۲۱]. طبقات دارای سقف کامپوزیت با ارتفاع قسمت فولادی ۷۶ میلیمتر و ۵۰ میلیمتر پوشش بتنی میباشند. هندسه و مقاطع طراحی شده برای این قاب در جدول (۱) و شکل (۳) ارائه شده است. مهاربندهای SMA در هـر طبقه به نحوى انتخاب شدند كه سختى محورى و نيروى محورى (o.A) یکسانی با مهاربندهای BRBS داشته باشند. قابل ذکر است که از تغییر شکل محوری تیر صرفنظر شده است [۲۳].

B19′	

شکل ۱- شبکه کریستالی فاز آستنیت در نایتینول [۲۰]



<u>ما ق</u>د 18 7 باديدها

جدول 1- مشخصات هندسی بکار رفته در مدل sabelli[27]

طبعه	فدنتدها	يره	سوں م
١	HSS ^ x ^ x ·/۵	W 11 x 49	W 17 x 1.9
۲	HSS ^φ x ^φ x •/Δ	W 1A X 49	W 17 X 1.9
٣	HSS & x & x ·/٣٧A	W 14 x 49	W 17 x 1.9

- 3 US Naval Ordnance Laboratory
- 4 Shape memory effect

۵- اهداف مقاله

در این مقاله سعی شده است که یک مهاربند ترکیبی از فولاد و آلیاژهای حافظهدار شکلی ارائه شود بطوریکه این مهاربند ترکیبی یک

^{5 -} Nitinol

در این صحت سنجی تنها دو نمونه از مدلهای کاری بررسی شده است و این مدلها بدین صورت می باشند که در هر دو حالت، سازه مورد نظر تحت زلزله السنترو با شتاب g ۰/۶ قرار گرفته است. مدل اول دارای مهاربند فولادی مقاوم در برابر کمانش بوده و مدل دوم دارای مهاربند از جنس آلیاژهای حافظهدار شکلی می باشد. در شکل های (۵) تا (۱۰) نمودارهای بدست آمده توسط کاری و نمودارهای بدست آمده توسط نرم افزار ANSYS



شکل ۵- تاریخچه زمانی تغییرمکان افقی تراز طبقه سوم در سیستم مهاربند فولادی مقاوم در برابر کمانش بدست آمده از نتایج کاری [۲۱]



آمده از تحلیل ANSYS و نتایج کاری

شکل ۲- شبکه کریستالی فاز مارتنزیت در نایتینول [۲۰]



SMA مورد بررسی در مدلهای کاری در جدول (۲) و شکل (۴) نشان داده شده است.

جدول ۲- پارامترهای بکار رفته در مدل رفتاری SMA در بخش صحت سنجی [۲۳]

ثابت	(MPA) مقدار
Martensite-to-Austenite start stress	47.
Martensite-to-Austenite finish stress	۵۰۰
Austenite-to-Martensite start reverese-stress	۳۰۰
Austenite-to-Martensite finish reverse-stress	7
phase transformation strain	۶/۵%
Martensite-to-Austenite Module of elastisity	۴۰۰۰۰



شکل ۴- نمودار تنش - کرنش آلیاژ حافظه دار شکلی بکار برده شده در مدلهای کاری [۲۳]







همانطوریکه که در شکلهای (۲) و (۱۰) دیده می شود، نتایج بدست آمده حاکی از تطابق قابل قبولی بین نمودارهای بدست آمده از نتایج کاری و تحلیل ANSYS می باشد.

البته قابل ذکر است که تفاوت جزئی بین مدلها وجود دارد که دلیل اصلی آن را میتوان در نحوه اتصال مهاربند به تیر – ستون

دانست. بدین معنی که در مدلهای بررسی شده در ANSYS امکان ایجاد مفصلی کامل میسر نگردیده است در حالیکه مدلهای کاری بصورت مفصل کامل در نظر گرفته شده است. در بخش بعدی نحوه اتصال مهاربند به تیر-ستون در ANSYS شرح داده شده است.

۷-مشخصات مدل

سازه مورد بررسی، همان سازه سه طبقه پیشنهادی توسط سابلی است که در بخش صحت سنجی ارائه و توضیح داده شده است. تفاوتی که در این بخش وجود دارد این است که مدل رفتاری آلیاژها متفاوت شده است. مدلهایی که برای این تحقیق استفاده شده بدین صورت میباشند که مهاربندها، ترکیبی از فولاد و آلیاژهای حافظ دار شکلی بوده و میزان مصرف طولی این آلیاژها بترتیب صفر، ۲۰، ۴۰، ۵۰۰ و ۱۰۰ درصد میباشند که مدل اول، همان مدل مهاربند فولادی و مدل آخر، همان مدل مهاربند آلیاژ حافظ دار شکلی می باشد. در جدول (۳) درصد میزان مصرف فولاد و AMS بکار برده شده در مهاربندها و در شکل (۱۱) شماتیکی از این مهاربندها نشان داده شده است.

جدول ۳- درصد میزان مصرف فولاد و SMA بکار برده شده در مهاریندها

	•2 •		
نوع مدا	درصد مصرف طولی آلیاژ	درصد مصرف	
0 69	حافظه دار شکلی	طولي فولاد	
مدل اول	0	100	J
مدل دوم	20	80	
مدل سوم	40	60	
مدل چهارم	60	40	
مدل پنجم	80	20	
مدل ششم	100	0	

SMA	STEEL	SMA
در سازه	ماتیک مهاربند بکار برده شده	شکل ۱۱– ش

مدل رفتاری فولاد و آلیاژ حافظهدار شکلی بکار برده شده در مهاربندها در شکل (۱۲) و جدول (۴) نشان داده شده است. شیب غیرخطی هر دو آلیاژ، فولاد و SMA، یکسان درنظر گرفته شده است و این یعنی اینکه مساحت زیر منحنی هر دو آلیاژ تقریباً یکسان درنظر گرفته شده است.



شکل ۱۲ - نمودار تنش – کرنش فولاد و آلیاژ حافظه دار شکلی بکار برده شده در مهاربندها

جدول ۴- پارامترهای بکار رفته در مدل رفتاری SMA [۲۰]

ثابت	مقدار
σ_s^{AS}	74. [MPa]
σ_f^{AS}	۳۰۰ [MPa]
σ_s^{SA}	۶۰ [MPa]
$\sigma_{\rm f}{}^{\rm SA}$	۳۰ [MPa]
EL	۶%
Ymrt	۸۰۰۰۰ [MPa]

برای مدلسازی المانهای قاب در ANSYS ، از Solid185 آلیاژ استفاده شده است و این بخاطر قابلیت معرفی مدل رفتاری آلیاژ حافظهدار در این المان می باشد. بدلیل استفاده از Solid ، ایجاد مفصل کامل در اتصال مهاربند به تیر– ستون امکان پذیر نمی باشد و همین عمل باعث ایجاد نیروی اضافی در گوشههای مهاربندها می شود. در شکل (۱۳) نحوه مدل سازی قاب در ANSYS و در شکل (۱۴) نحوه مش بندی و اتصال مهاربند به تیر– ستون نشان داده شده است. (قابل ذکر است که در عمل نیز اتصالات بصورت مفصل کامل نمی باشد)



شکل ۱۳ - نحوه مدل سازی قاب در ANSYS



شکل ۱۴- نحوه مش بندی و اتصال مهاربند به تیر- ستون

در مدلسازی مهاربندها، نحوه اتصال گرههای فولادی به SMA طوری درنظر گرفته شدهاند که هیچ حرکت و دورانی بین گرههای اتصالی دو آلیاژ وجود ندارد و به اصطلاح به هم Merge شدهاند. در شرایط حقیقی نیز میتوان با استفاده از جوشکاری تحت اتمسفر خنثی، SMA را به فولاد متصل کرد. قابل ذکر است که این کار چندین بار در دانشگاه صنعتی سهند انجام شده است [۲۰].

۸-تحليل و نتايج أن

دو تفاوت عمده بین رفتار فولاد و آلیاژ حافظهدار وجود دارد که یکی از این تفاوتها، این است که آلیاژ حافظهدار بعد از تحمل یک کرنش بزرگ، قادر است به حالت اولیه خود بازگردد و به اصطلاح تغییر مکان افقی سازه را به حداقل برساند و دیگری میزان جذب انرژی در سازه را افزایش میدهد. در این بخش سعی شده است تا با مقایسه نمودار تاریخچه زمانی تغییرمکان افقی و نمودار جذب انرژی سازه در تمامی مدلها، بهینه ترین مهاربند را هم از لحاظ مصرف آلیاژ حافظهدار شکلی و هم از لحاظ رفتار لرزهای ارائه داد. در ادامه تاریخچه زمانی بعضی از مدلها در اشکال (۱۵) تا (۱۸) نشان داده شده است.



شکل ۱۵- تاریخچه زمانی تغییرمکان افقی تراز طبقه سوم در سیستم مهاربندی با ترکیب %0 SMA و %3 Steel تحت حداکثر شتاب ۶۶/۰



سکل ۱۶ - تاریخچه زمانی تعییرمکان اعلی ترار عبقه سوم در سیستم مهاربندی با ترکیب %SMA 20 و %Steel 80 تحت حداکثر شتاب ۶۶/۰۶



شکل ۱۷ – تاریخچه زمانی تغییرمکان افقی تراز طبقه سوم در سیستم مهاربندی با ترکیب 80% SMA و 20% Steel تحت حداکثر شتاب ۶۶/۰



شکل ۱۸- تاریخچه زمانی تغییرمکان افقی تراز طبقه سوم در سیستم مهاربندی با ترکیب %SMA 100 و %Steel تحت حداکثر شتاب ۶g/۰

برای مقایسه بهتر، میزان تغییرمکان باقی مانده سازه در سیستمهای مهاربندی بکار برده شده تحت حداکثر شتاب ۶۶/۰ در

جدول (۵) آورده شده است و همچنین مقایسه DOD با درصد مصرف آلیاژ حافظه دار شکلی در شکل (۱۹) بصورت نموداری نشان داده شده است.

DOD مقایسه تغییرمکان باقی مانده مهاربند مورد نظر نسبت به تغییرمکان باقی مانده مهاربند فولادی و SMA میباشد و یک رابطه نسبی بین اختلاف مقدار تغییر مکان باقی مانده سازه در سیستم مهاربندی با ترکیب مورد نظر با مقدار تغییرمکان باقی مانده در سیستم مهاربندی با ترکیب %0 SMA و %00 tel 1000 و گریب SMA 100% و %0 SMA و %0 SMA و %50 tel برقرار شده سیستم مهاربندی با ترکیب %0 SMA و %50 tel 1000 برقرار شده است که در فرمول (۱) نشان داده شده است.

$$DOD = \frac{D_M - D_{ST}}{D_{SMA} - D_{ST}}$$
(1)

Dm= مقدار تغییرمکان باقی مانده در سیستم مهاربندی با ترکیب مورد نظر DsT= مقدار تغییرمکان باقی مانده در سیستم مهاربندی با ترکیب SMA 0% و 100% Steel 100%

BMA= مقدار تغییرمکان باقی مانده در سیستم مهاربندی با ترکیب SMA 100% و 100% Steel 0%

نمهای	سيسة	ازه در	مانده سا	باقى	مكان	تغيير	يسه	- مقا	ل ۵-	جدوا
	190 .	ث.تاب	، حداکث		م ث. <u>م</u>	 .	15.	e 11.	10 .	

-		
	تغييرمكان باقى	DOD
مدل مورد نظر	مانده در سازه	(برحسب
	(mm)	درصد)
سیستم مهاربندی SMA 0% و	6.03	0.%
Steel 100%	0.95	*0 70
سیستم مهاربندی SMA 20% و	1.52	80%
Steel 80%	1.52	6970
سیستم مهاربندی SMA 40% و	1 12	05%
Steel 60%	1.12	9370
سیستم مهاربندی SMA 60% و	0.94	08%
Steel 40%	0.94	9870
سیستم مهاربندی SMA 80% و	0.85	00.0%
Steel 20%	0.85	<i>77.9%</i>
سیستم مهاربندی SMA 100%	0.84	100.0/
و Steel 0%	0.84	100 %

این شرایط برای جذب انرژی نیز بررسی شده و در جدول (۶) و شکل (۲۰) نشان داده شده است (بجای DOD، از DOE استفاده شده است). نحوه بدست آوردن DOD و DOE ، در فرمولهای (۱) و (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲۰- مقایسه درصد مصرف آلیاژ حافظه دار با DOE تحت حداکثر شتاب ۶β+

با توجه به شکلهای (۱۹) و (۲۰) و با مقایسه نتایج مهاربندهای ترکیبی با نتایج مهاربند فولادی (مدل اول) و مهاربند SMA (مدل ششم)، مشاهده می شود که نتایج مهاربندهای ترکیبی ما بین نتایج مهاربندهای فولادی و SMA بوده و به میزان مصرف SMA بستگی دارد و هر چقدر میزان مصرف SMA در مهاربند بیشتر شود، عملکرد لرزهای سازه نیز بهتر خواهد بود. اما در این تحقیق به دنبال مصرف بهینه SMA بوده و برای بدست آوردن آن میزان مصرف SMA و عملکرد لرزهای سازه با هم مقایسه شده و بهترین حالت ملاک عمل خواهد بود. حالت بهینه زمانی میسر خواهد بود که در شکلهای (۱۹) و نشیب منحنی نسبت به مبدا مختصات (خطوط خط چین) تند باشد (چون در این حالت میزان مصرف کمتر و عملکرد لرزهای، نسبت به میزان مصرف، بیشتر خواهد بود).

همانطوریکه در شکل (۲۰)، دیده می شود که میزان جذب انرژی مدلها تفاوت چندانی با هم ندارند. دلیل آن این است که تحت حداکثر شتاب 0.6g، مدلها بیشتر زمان زلزله را در حالت خطی مانده و در بعضی مواقع وارد ناحیه غیرخطی می شوند و چون در حالت خطی، رفتار فولاد و SMA یکسان است، به همین دلیل میزان جذب انرژی مدلها تفاوت چندانی باهم ندارند. برای فهم بهتر موضوع، نمودار هیسترزیس مهاربند SMA (مدل ششم) و مهاربند فولاد(مدل اول) به ترتیب در شکلهای (۲۱) و (۲۲) نشان داده شده است.



شکل ۲۱- نمودار هیسترزیس مهاربند فولادی(مدل اول) تحت حداکثر شتاب ۶<u>۶</u>/۰



m m مقايسه درصد مصرف آلياژ حافظه دار با DOD تحت حداكثر شتاب ۶g/۰

جدول ۶- مقایسه میزان جذب انرژی سازه در سیستمهای مهاربندی بکار برده شده تحت حداکثر شتاب ۶۹/۰

	میزان جذب انرژی	DOE		
وع متل	(KN.m)	(بر حسب درصد)		
سیستم مهاربندی SMA 0% و Steel 100%	453	0 %		
سیستم مهاربندی SMA 20% و Steel 80%	454.8	41%		
سیستم مهاربندی SMA 40% و Steel 60%	456	66%		
سیستم مهاربندی SMA 60% و Steel 40%	456.4	76%		
سیستم مهاربندی %SMA 100 و %Steel 20	457.4	99%		
سیستم مهاربندی %SMA 100 و %Steel 0	457.5	100 %		

$$DOE = \frac{E_{M} - E_{ST}}{E_{SMA} - E_{ST}}$$
(7)

میزان جذب انرژی سازه در سیستم مهاربندی با ترکیب مورد $= E_{\mathrm{M}}$ نظر

ان جذب انرژی سازه در سیستم مهاربندی با ترکیب = E_{ST} SMA 0% و SMA

ا میزان جذب انرژی سازه در سیستم مهاربندی با ترکیب = E_{SMA} Steel 0% , SMA 100%

شکل (۲۴) مقایسه نمودارهای جذب انرژی سازه در سیستمهای مهاربندی بکار برده شده تحت حداکثر شتاب ۰/۹g میباشد و جدول (۸) مقایسه میزان جذب انرژی سازه در سیستمهای مهاربندی بکار برده شده تحت حداکثر شتاب ۰/۹g را نشان میدهد.



سیستمهای مهاربندی بکار برده شده تحت حداکثر شتاب ۰/۹g

سیستمهای	زه در	ی ساز	ب انرژ	ن جذ	ميزار	مقايسه	جدول ۸-
ب +/٩g+	و شتا	حداكثر	تحت	شده	برده	دی بکار	مهاربند

نوع مدل	میزان جذب انرژی (KN.m)	DOE(بر حسب درصد)
سیستم مهاربندی %SMA 0 و %Steel 100	552	0%
سیستم مهاربندی SMA 20% و 80% Steel	753	55%
سیستم مهاربندی SMA 40% و Steel 60%	776	61.5%
سیستم مهاربندی SMA 60% و Steel 40%	797	67%
سیستم مهاربندی SMA 80% و 80% Steel	884	91%
سیستم مهاربندی SMA 100% و Steel 0%	917	100%

شکلی با DOE	حافظه دار	مصرف آلياژ	سه درصد	(۲۵) مقای	ئىكل	ڈ
دهد.	نشان مي	صورت نمودار	۰/۹g را بد	ئثر شتاب	، حداک	تحت



شکل ۲۲- نمودار هیسترزیس مهاربند SMA(مدل ششم) تحت حداکثر شتاب ۶۹/۰

همانطوریکه گفته شد مدلها تحت حداکثر شتابهای g/۶g و ۹/۹ بررسی شدهاند که نتایج مدلهای تحت حداکثر شتاب ۹g/۰ را میتوان در جدولهای (۷) و (۸) و شکلهای (۲۳)، (۲۴) و (۲۵) مشاهده کرد. جدول (۷) مقایسه تغییرمکان باقی مانده سازه، در تمامی مدلها، تحت حداکثر شتاب g/۰ میباشد و همچنین مقایسه میزان مصرف آلیاژ حافظهدار شکلی با مقدار تغییرمکان باقی مانده سازه در مدلهای مورد نظر، تحت حداکثر شتاب ۹g/۰، در شکل (۲۳) نشان داده شده است.

جدول ۷- مقایسه تغییرمکان باقی مانده سازه در سیستمهای مهاربندی بکار برده شده تحت حداکثر شتاب g+(۹

مدل مورد نظر	تغییرمکان باقی مانده در سازه (mm)	DOD(بر حسب درصد)
سیستم مهاربندی %SMA و Steel 100%	35.93	0%
سیستم مهاربندی SMA 20% و Steel 80%	2.14	96.8%
سیستم مهاربندی SMA 40% و Steel 60%	1.71	98%
سیستم مهاربندی SMA 60% و Steel 40%	1.18	99%
سیستم مهاربندی SMA 80% و Steel 20%	1.06	99.8%
سیستم مهاربندی SMA 100% و Steel 0%	1.01	100%



شکل ۲۳– مقایسه درصد مصرف اَلیاژ حافظه دار با DOD تحت حداکثر شتاب ۰/۹g



شکل ۲۵− مقایسه درصد مصرف آلیاژ حافظه دار با DOE تحت حداکثر شتاب p-/۹g

در این تحقیق، نمودار تنش – کرنشی برای فولاد معرفی شد که این نمودار از جنبههای ظاهری شبیه نمودار تنش –کرنش آلیاژ حافظه دار شکلی بود که یکی از مهمترین شباهتهای آنها در میزان جذب انرژی در حلقه اول میباشد. همانطوریکه مشاهده میشود این دو آلیاژ، در نمودار تنش – کرنششان، جذب انرژی تقریباً یکسانی را دارند در حالی که در مدلهای ارائه شده ، با افزایش مصرف آلیاژ حافظهدار شکلی، میزان جذب انرژی افزایش مییابد و با افزایش شدت زلزله این حالت واضحتر میشود (همانند شکل ۲۴) که دلیل اصلی آن را می توان در خصوصیات ویژه این آلیاژها مشاهده کرد یعنی بازگشت سازه به حالت اولیه بعد از باربرداری و مقاومت در برابر خستگی.

این تفاوت را میتوان بوضوح در نمودار هیسترزیس مهاربند فولادی و مهاربند SMA تحت حداکثر شتاب 0.9g مشاهده گردید.



محل ۲۰- تصودار هیسترریس مهاربند کو دی هدن اور تحت حداکثر شتاب ۹۲/۰



شکل ۲۷- نمودار هیسترزیس مهاربند SMA(مدل ششم) تحت حداکثر شتاب ۹g/۰

با توجه به شکلهای ۱۹،۲۰،۲۳ و ۲۵، میتوان سیستم مهاربند با ترکیب %SMA 20 و %Steel 80 را در این تحقیق مهاربند بهینه معرفی کرد چرا که در مهاربند مذکور تنها با مصرف ۲۰ درصد از SMA ، عملکردهای لرزهای ۸۹، ۴۱، ۹۶،۹۰ و ۵۵ درصدی دارند که کمترین حالت ۴۱ درصد و بیشترین حالت ۹۶/۸ درصد میباشد.

۹-نتیجه گیری

در این تحقیق، نمودار تنش – کرنشی برای فولاد معرفی شد که این نمودار از جنبههای ظاهری شبیه نمودار تنش–کرنش آلیاژ حافظه دار شکلی بود که یکی از مهمترین شباهتهای آنها در میزان جذب انرژی در حلقه اول میباشد. همانطوریکه مشاهده میشود این دو آلیاژ، در نمودار تنش–کرنششان، جذب انرژی تقریباً یکسانی را دارند در حالی که در مدلهای ارائه شده، با افزایش مصرف آلیاژ حافظهدار شکلی، میزان جذب انرژی افزایش مییابد و با افزایش شدت زلزله این حالت واضحتر میشود که دلیل اصلی آن را میتوان در خصوصیات ویژه این آلیاژها یعنی بازگشت سازه به حالت اولیه بعد از باربرداری و مقاومت در برابر خستگی مشاهده کرد.

در این تحقیق، برای بدست آوردن بهینه ترین ترکیب در مهاربند باید حالتی را انتخاب کنیم که در نمودارهای درصد مصرف آلیاژ حافظهدار شکلی به DOD و DOE (شکلهای ۱۹ ، ۲۰ ، ۲۳ و ۲۵)، شیب تندی را داشته باشد که این حالت در سیستم مهاربند با ترکیب SMA 20% و 80% Steel میباشد که تنها با استفاده %20 از آلیاژ حافظهدار شکلی، در کمترین حالت، عملکرد ۴۱ درصدی و در بیشترین حالت، عملکرد ۸/۹۶ درصدی را نسبت به سیستم مهاربند با ترکیب %200 Steel و 80% Steel دارد.

استفاده از آلیاژ حافظهدار شکلی در مهاربند برای مقابله با زلزله های ضعیف و متوسط، با این شرایط ، تفاوت چندانی با فولاد نداشته و بکارگیری آنها از لحاظ اقتصادی، خیلی قابل توجیه نمی باشد.

- [12]- Yam, M.C.H. et al., Numerical study and practical design of beam-to-column connections with shape memory alloys, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 104, No. 1, 2014, pp 177-192.
- [13]- Sun, W., Seismic response control of high arch dams including contraction joint using super-elastic SMA nonlinear damper, Construction and Building Materials, Vol. 25, No. 9, 2011, pp 3762-3767.
- [14]- Asgarian, B., Moradi, S., Seismic response of steel braced frames with shape memory alloy braces, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 67, No. 1, 2011, pp 65-74.
- [15]- Miller, D.J., Fahnestock, L.A., Eatherton, M.R., Development and experimental validation of a nickel-titanium shape memory allov self-centering buckling-restrained brace. Engineering Structures, Vol. 40, No. 1, 2012, pp 288-298.
- [16]- Walter Yang, Ch.Sh., Desroches, R., Leon, R.T., Design and analysis of braced frames with shape memory alloy and energyabsorbing hybrid devices, Engineering Structures, Vol. 32, No. 2, 2010, pp 498-507.
- [17]- Otsuka K, Wayman CM., Shape Memory Materials, Cambridge University Press, 1998.
- [18]- Song,G., Ma, N., Li H., Application of shape memory alloy in civil structures, Engineering Structures, Vol. 28, 2006, pp 1266-1274.
- [19]- Janke, L., Czaderski, C., Motavalli, M., Ruth J., Application of shape memory alloys in civil engineering structures-overview, limits and new ideas, Materials and Structures, Vol. 38, 2005, pp 578-592.
- [20]- Kazemi-Choobi, K., Khalil-Allafi, J., Abbasi-Chianeh, V., Investigation of the recovery and recrystallization processes of Ni50.9Ti49.1 shape memory wires using in situ electrical resistance measurement, Mater. Sci. Eng., Vol. 551, No.15, 2012, pp.122-127.
- [21]- Sabelli, R., Research on Improving the Design and Analysis of Earthquake-Resistant Steel-Braced frame, Professional Fellowship Report No. PF2000-9, NEHRP, 2001, US.
- [22]- Desroches, R., McCormick, J., Delemont, MA., Cyclical properties of superelastic shape memory alloy, ASCE Journal of Structural Eng., Vol. 130, No. 1, 2004, pp 38-46.
- [23]- قاسمیه، م.،کاری، ا.، مقایسه بهبود عملکرد لرزه ای سازه
- های دارای بادبندهای ساخته شده از آلیاژهای حافظه دار
- شکلی و بادبندهای مقید شده در برابر کمانش، چهارمین

کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.

۱۰-منابع

- [1]- Alvandi, S., Ghassemieh, M., Application of shape memory alloys in seismic isolation: A review. Civil Engineering Infrastructures Journal., Vol. 47, No. 2, 2014, pp 153-171.
- [2]- Ozbulut, O.E., Hurlebaus, S., Energy-balance assessment of shape memory alloy-based seismic isolation devices, Smart Structures and Systems, Vol. 8, No. 4, 2011, pp 399-412.
- [3]- Ma, H., C.H.Yam, M., Modelling of a selfcentering damper and its application in structural control, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 67, No. 4, 2011, pp 656-666.
- [4]- Motahari, S.A., Ghassemiyeh, M., Abolmaali, S.A., Implementation of shape memory alloy dampers for passive control of structures subjected to seismic excitations, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 63, No. 12, 2007, pp 1570-1579.
- [5]- Ben Mekki, O., Auricchio, F., Performance evaluation of shape-memory-alloy superelastic behavior to control a stay cable in cablestaved bridges. International Journal of Non-Linear Mechanics, Vol. 46, No. 2, 2011, pp 470-477.
- [6]- Padgett, J., Desroches, R., Ehlinger, R., Experimental response modification of a fourspan bridge retrofit with shape memory alloys, Structural Control and Health Monitoring, Vol. 17, No. 6, 2009, pp 694-708.
- [7]- Shrestha, K.C. et al., Applicability of Cu-Al-Mn shape memory alloy bars to retrofitting of historical masonry constructions, Smart Structures and Systems, Vol. 3, No. 2, 2011, pp 233-256.
- [8]- Malagisi, S., Marfia, S., Sacco, E., Toti, J., Modeling of smart concrete beams with shape memory alloy actuators, Engineering Structures, Vol. 75, No. 1, 2014, pp 63-72.
- [9]- Muntasir Billah, A.H.M., Shahria Alam, M., Seismic performance of concrete columns reinforced with hybrid shape memory alloy (SMA) and fiber reinforced polymer (FRP) bars, Construction and Building Materials, Vol. 28, No. 1, 2012, pp 730-742.
- [10]- Youssef, M.A., Elfeki, M.A., Seismic performance of concrete frames reinforced with superelastic shape memory alloys, Smart Structures and Systems, Vol. 9, No. 4, 2012, pp 313-333.
- [11]- Speicher, M.S., DesRoches, R., Leon, R.T., Experimental results of a NiTi shape memory alloy (SMA)-based recentering beam-column connection, Engineering Structures, Vol. 33, No. 9, 2011, pp 2448-2457.

۳.

Evaluating the seismic performance of steel-sma hybrid Bracing structures

Mohammad Hooshmand

Master of Science in Civil Engineering-Structures, Sahand University of Technology, Tabriz,

Iran

Behzad Rafezy Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sahand University of Technology,

Tabriz, Iran

Jaefar khalil elafi

Assistant Professor, Department of Materials Engineering Faculty, Sahand University of

Technology, Tabriz, Iran

ABSTRACT:

In this study the seismic performance of hybrid braces composed of steel and shapedmemory alloys (SMA). is investigated Six types of hybrid braces were used, constituted by SMA content of 0, 20, 40, 60, 80, and 100%. A nonlinear dynamic analysis was performed under El Centro earthquake records, with the maximum acceleration of 0.6g and 0.9g. Our results showed that the seismic performance, i.e., the amount of energy absorption and residual strain, of steel-SMA hybrid braces depends on the SMA content. The optimal value of SMA content was 20%, as, at this concentration, a hybrid brace can be designed with good seismic performance at a justifiable fabrication cost.

Keywords: Hybrid brace, Shape Memory Alloy (SMA), Seismic Performance, Nonlinear Dynamic Analysis, Finite Element Modeling.