



## اثر کاربرد مصالح حافظه‌دار شکلی در تیر پیوند دیوار برشی بر ضریب رفتار دیوار همراه با بازشو

مسیح نعمتی<sup>۱\*</sup>، عباسعلی تسنیمی<sup>۲</sup>

### چکیده

تأمین شکل‌پذیری در دیوارهای برشی بتنی، نیاز به آرماتورهای پیچیده‌ای دارد و این پیچیدگی در صورت وجود بازشوهایی در دیوار برشی صورتی دیگر به خود می‌گیرد. شکل‌پذیری نقش مهمی در رفتار دیوار برشی بتنی ایفا می‌کند. در این مقاله سعی بر آن است که تأثیر استفاده از آرماتورهای حافظه‌دار شکلی (SMAs)، بر بهبود ضریب رفتار دیوارهای برشی بتنی مورد مطالعه را قرار گیرد. بدین منظور دیوار برشی با بازشوهایی متقارن در نرم‌افزار ABAQUS مدل شده و با رفتار آزمایشگاهی آن‌ها مورد تطابق قرار گرفته است. برای بررسی میزان تأثیر این مصالح هوشمند بر ضریب رفتار دیوار برشی، ۶ حالت آرایش قرارگیری آرماتور فولادی و آرماتورهای حافظه‌دار شکلی (SMAs) در تیر پیوند دیوار برشی، در نظر گرفته شده است. در هر کدام از این حالات میزان ضریب رفتار سازه‌ی برشی مورد مطالعه، محاسبه می‌شود و در هر ۶ حالت، ضریب رفتار افزایش می‌یابد، ولی تفاوتی در میزان این افزایش‌ها وجود دارد و حالت تعبیه‌ی آرماتورهای سوپر الاستیک در تیر پیوند بر میزان این افزایش‌ها تأثیر دارد. هدف از ارائه این مقاله ایجاد بهینه‌گی در مصرف این مصالح می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** دیوار برشی بتنی، تیر پیوند، مصالح حافظه‌دار شکلی، ضریب رفتار، بازشوهایی متقارن

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استاد گروه عمران، دانشگاه تربیت مدرس

\* نویسنده مسئول: masih.nemati69@gmail.com

## ۱- مقدمه

امروزه در اکثر آیین‌نامه‌های جهان استفاده از عملکرد غیر ارتجاعی سازه‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است و این امر بدان دلیل است که وارد شدن بخشی از سازه به محدوده‌ی رفتار پلاستیک موجب ایجاد اتلاف انرژی بهتری در سازه در برابر بارهای جانبی نظیر زلزله می‌شود. البته می‌بایست به این نکته توجه کرد که طراحی سازه در حالت کاملاً الاستیک در برابر زلزله‌های شدید، باعث ایجاد مقاطع بزرگ برای سازه می‌شود، که این نوع طراحی از لحاظ اقتصادی به صرفه نمی‌باشد.

در نظر گرفتن رفتار غیر ارتجاعی برای طراحی سازه نیاز به تحلیل دینامیکی غیرخطی دارد که رفتار واقعی سازه را نشان می‌دهد. این نوع تحلیل دارای پیچیدگی‌های خاص خود است و همچنین نیاز به زمان بیشتری نسبت به سایر روش‌های تحلیلی دارد. در اکثر آیین‌نامه‌ها برای حل این مشکل و به منظور پرهیز از تحلیل دینامیکی غیرخطی، روشی وجود دارد که به کمک آن می‌توان بدون اجرای تحلیل‌های غیرخطی، عملکرد غیرخطی سازه را در تحلیل و طراحی سازه محسوب کرد و فقط سازه را در محدوده الاستیک تحلیل و طراحی کرد. اساس این روش استفاده از ضریبی می‌باشد که ضریب رفتار یا ضریب کاهش نیرو نام دارد. این ضریب به گونه‌ای است که نیروی واقعی زلزله که سبب ایجاد رفتار پلاستیک در سازه می‌شود را کاهش داده، به گونه‌ای که می‌توان تحلیل و طراحی سازه را در محدوده الاستیک انجام داد. ضریب رفتار سازه به پارامترهای زیادی وابسته است که از جمله‌ی این پارامترها می‌توان به جنس سازه، عملکرد سازه و شکل‌پذیری سازه اشاره کرد. یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در این ضریب، شکل‌پذیری سازه می‌باشد که در این مقاله برای ایجاد شکل‌پذیری در یک دیوار برشی بتنی با بازشوهای متقارن که سازه‌ی بسیار مهمی در جذب نیروهای جانبی می‌باشد، از آرماتور حافظه‌دار شکلی در فاز رفتاری سوپر الاستیک

که مصالحی هوشمند هستند، استفاده می‌شود و تأثیر آن بر ضریب رفتار سازه مورد بررسی قرار می‌گیرد (قاسمیه، صابر دل‌ساده، و مصطفی‌زاده ۱۳۸۹).

اخیراً آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در کنترل غیرفعال سازه مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش‌های کنترل غیرفعال را می‌توان به‌طور کلی به دودسته‌ی سیستم‌های مستهلک کننده‌ی انرژی و جداگرهای پی، تقسیم کرد. تمام سیستم‌های مستهلک کننده انرژی کم‌ویش دارای مشکلاتی از قبیل عمر مفید کم، سختی نصب، خستگی، احتیاج به تعویض و اعمال تغییر در هندسه‌ی سازه پس از وقوع زلزله هستند. آلیاژهای حافظه‌دار شکلی موادی هوشمند و شکل‌پذیر هستند که معایب فوق را ندارند. در سال‌های اخیر محققین بسیاری، اثر استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار شکلی را در رفتارهای لرزه‌ای سازه‌ها مورد بررسی قرار داده‌اند، در یک سری آزمایش بر روی میله‌ها و کابل‌های ساخته شده از آلیاژهای حافظه‌دار شکلی، رفتار این مواد را به منظور میزان جذب انرژی مورد بررسی قرار داد و نشان داد که این مصالح قابلیت جذب انرژی مناسبی دارند (DesRoches, McCormic, and Delemont 2004).

## ۲- ضریب رفتار

تاکنون روش‌های بسیاری برای محاسبه‌ی ضریب رفتار دیوار برشی در سازه‌های متعدد ابداع شده است که در حالت کلی می‌توان آن‌ها را به دودسته‌ی آمریکایی و اروپایی تقسیم کرد. این دودسته نسبت به هم تفاوت‌هایی دارند. روش‌های آمریکایی نسبت به روش‌های اروپایی مبانی تئوری بسیار ساده‌تری دارند، ولی با این حال کاربردی‌ترند، زیرا که نسبت به سادگی‌شان دقت مناسبی دارند. در این مقاله برای محاسبه‌ی ضریب رفتار از روش ضریب شکل‌پذیری یانگ که یک روش آمریکایی می‌باشد، استفاده می‌شود که در این روش ضریب رفتار از رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود (Uang 1991).

$$R_w = R_{\mu} \Omega Y \quad (1)$$

برای تعریف شکل پذیری از منحنی نیرو-تغییر شکل استفاده می‌گردد. نیرو ممکن است بار، لنگر و یا تنش باشد و تغییر شکل‌های متناظر با آن‌ها عبارت است از تغییر طول، انحنا یا دوران و کرنش Newmark and (Hall 1982). برای بیان میزان شکل پذیری معمولاً از ضریب شکل پذیری استفاده می‌شود و به صورت رابطه‌ی (۵) تعریف می‌گردد:

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (5)$$

که در آن  $\mu$  ضریب شکل پذیری،  $\Delta_u$  تغییر شکل نهایی یا بیشینه و  $\Delta_y$  تغییر شکل نظیر تسلیم می‌باشد.

## ۲-۱- رابطه نیومارک- هال برای یافتن ضریب کاهش در اثر شکل پذیری

قدیمی‌ترین رابطه بین  $\mu$  و  $R_\mu$  توسط نیومارک و هال در سال ۱۹۸۲ پیشنهاد شده است. این دو دریافتند که سازه‌های دارای رفتار خطی و غیرخطی که زمان تناوب آن‌ها در محدوده سرعت ثابت در طیف پاسخ قرار می‌گیرد، حداکثر تغییر مکان ثابت دارند و سازه‌های دارای رفتار خطی و غیرخطی که زمان تناوب آن‌ها در محدوده شتاب ثابت در طیف پاسخ قرار می‌گیرند، تحت بارگذاری یک‌طرفه انرژی یکسانی جذب می‌کنند (طاهری بهبهانی ۱۳۶۰).

در این روش برای سیستم‌های با زمان تناوب بزرگ‌تر از ۰/۱۲۵ ثانیه و کمتر از ۰/۵ ثانیه از رابطه‌ی (۶) استفاده می‌گردد:

$$R_\mu = \sqrt{2\mu} - 1 \quad (6)$$

برای زمان‌های تناوب کمتر از ۰/۰۳ ثانیه از رابطه‌ی (۷):

$$R_\mu = 0.1 \quad (7)$$

و برای زمان‌های تناوب بزرگ‌تر از یک ثانیه از رابطه (۸) استفاده می‌گردد:

$$R_\mu = \mu \quad (8)$$

که در آن  $R_w$  ضریب رفتار (طراحی در حالت تنش مجاز)،  $\Omega$  ضریب مقاومت افزون و  $Y$  ضریب تنش مجاز (این ضریب در طراحی به روش حدی، یک است)، می‌باشد.

ضریب تنش مجاز بر اساس نحوه‌ی برخورد آیین‌نامه‌های مصالح با تنش‌های طراحی (بار مجاز یا بار نهایی) تعیین می‌شود. این ضریب بر اساس روش تنش مجاز آیین‌نامه ۱۹۸۹ AISC-ASD از رابطه‌ی (۲) قابل محاسبه می‌باشد.

$$Y = \frac{C_s}{C_w} = \frac{Z F_y}{S \left( \frac{4}{3} F_y \cdot 0.6 \right)} = \frac{1/15 y}{0.8 F_y} = 1/44 \quad (2)$$

که در آن  $C_s$  حد تراز اولین تسلیم،  $C_w$  حد تراز تنش‌های مجاز،  $Z$  اساس مقطع پلاستیک مقطع،  $S$  اساس مقطع الاستیک مقطع و  $F_y$  تنش تسلیم مصالح می‌باشد. نسبت اساس مقطع پلاستیک به الاستیک در سازه‌های بال‌پهن نظیر دیوار برشی، برابر با ۱/۴۴ می‌باشد.

ضریب مقاومت افزون، مقاومت ذخیره‌ای است که مابین تراز تسلیم کلی سازه و تراز اولین تسلیم وجود دارد و به این نام شناخته می‌شود. ضریب مقاومت افزون از رابطه‌ی (۳) قابل محاسبه است:

$$\Omega = \frac{C_y}{C_s} \quad (3)$$

که در آن  $C_y$  تراز تسلیم کلی سازه می‌باشد. به دلیل ایجاد ظرفیت استهلاک انرژی در سازه، نیروی طراحی ارتجاعی را می‌توان به تراز مقاومت تسلیم کاهش داد. از این رو ساختار کلی ضریب کاهش بر اثر شکل‌پذیری، رابطه (۴) می‌باشد، که البته روش‌های متعددی برای محاسبه این ضریب ارائه شده است که در این مقاله از روش نیومارک- هال که تابعی از شکل‌پذیری می‌باشد، برای محاسبه ضریب کاهش استفاده شده است.

$$R_\mu = \frac{C_{eu}}{C_y} \quad (4)$$

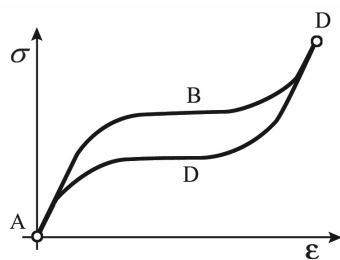
که در آن  $R_\mu$  ضریب کاهش بر اثر شکل‌پذیری،  $C_{eu}$  نیروی طراحی ارتجاعی و  $C_y$  تراز مقاومت تسلیم می‌باشد.

است. حالت آستینیت دارای سختی و تقارن بیشتری نسبت به حالت مارتنزیت می‌باشد. اگر ماده در حالت آستینیت باشد پس از باربرداری، کرنش پسماند به‌جای نمی‌گذارد (DesRoches and Delemont 2002).

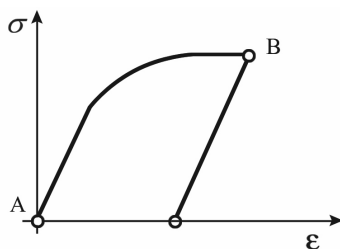
### ۳-۱-۲- کریستال مارتنزیت

فاز مارتنزیت در دمای پایین روی می‌دهد و در تنش‌های بالا پایدار بوده و مسئول ایجاد رفتار حافظه‌ی شکلی است و نسبت به فاز آستینیت تقارن کمتری دارد. اگر آلیاژ در حالت مارتنزیت باشد، کرنش پسماند به‌جای می‌گذارد (DesRoches and Delemont 2002). نمودار رفتاری دو حالت کریستالی این مصالح در شکل (۱) ارائه شده است.

در این مقاله از آلیاژهای حافظه‌دار شکلی که دارای ساختار کریستالی آستینیت و فاز رفتاری سوپر الاستیک می‌باشند، استفاده شده است. جنس این آرماتورها از نیتینول است و دارای مدول الاستیسیته ۷۵۰۰۰ مگا پاسکال و دارای کرنش و تنش تسلیم ۰/۰۰۵ و ۴۲۵ مگا پاسکال می‌باشند و در کرنش ۰/۰۸ دچار سخت شدگی مجدد می‌شوند. رفتار این نوع آرماتورها مطابق با شکل (۱-الف) می‌باشد.



(الف)



(ب)

شکل (۱). نمودار رفتاری مصالح حافظه‌دار شکلی (SMAs) در دو فاز کریستالی. (الف) رفتار سوپر الاستیک (آستینیت)، (ب) رفتار حافظه‌ی شکلی (مارتنزیت)

(Ghassemieh, Mostafazadeh, and Saberdel Sadeh 2007).

برآورد  $R_{\mu}$  در زمان‌های تناوب بین ۰/۰۳ و ۰/۱۲ ثانیه و نیز بین ۰/۵ و ۱ ثانیه، با میانمایی بین مقادیر حدی که در رابطه‌های فوق آمده است، انجام می‌شود. رابطه‌ی (۶) به اصل انرژی یکسان و رابطه‌ی (۸) به اصل تغییر مکان یکسان، مشهور است.

### ۳- معرفی مصالح آلیاژهای حافظه‌دار شکلی

در طی حدود بیست سال گذشته مصالح حافظه‌دار شکلی، در صناعی همچون تجهیزات پزشکی و هوافضا به علت رفتار منحصر به فردشان کاربردهایی پیدا کرده‌اند. در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی برای امکان استفاده از این مصالح در فعالیت‌های عمرانی و کنترل رفتار لرزه‌ای سازه انجام شده است.

در بین مصالح حافظه‌دار شکلی، نیتینول که توسط بوهرلر در نیروی دریایی ارتش آمریکا برای اولین بار ساخته شد نسبت به مصالح حافظه‌دار شکلی دیگر اهمیت و کاربرد بیشتری دارد (Buehler and Wliewy 1965).

در حالت کلی خصوصیت اصلی مواد حافظه‌دار شکلی، رفتار فوق الاستیکشان است که به آن‌ها اجازه می‌دهد کرنش‌های بالا، حتی تا مرز ۰/۸ در کشش و ۰/۱۲ در پیچش را نیز تحمل کنند و کرنش پسماند کمی که بستگی به شرایط کریستالی ماده و دمای محیط دارد، به‌جا بگذارند. از دیگر ویژگی‌هایی که می‌توان برای این مصالح نوین برشمرد، مقاومت این مصالح در برابر خوردگی و خستگی، قابلیت بازگشت به حالت اولیه و از بین بردن کرنش‌های پسماند به‌وسیله‌ی اعمال دما می‌باشد (Motahari, Ghassemieh, and Abolmaali 2007).

### ۳-۱-۳- کریستال‌های آلیاژهای حافظه‌دار شکلی

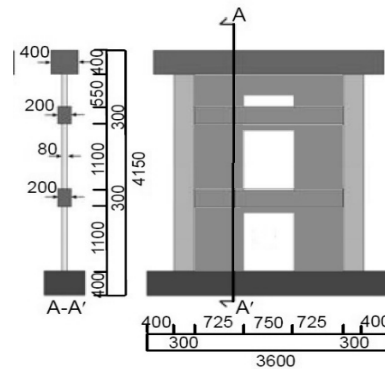
در کل، آلیاژهای حافظه‌دار شکلی دارای دو نوع کریستال بانام‌های آستینیت و مارتنزیت هستند، که این کریستال‌ها رفتار آلیاژ را بر اساس دمای وارد بر آن تنظیم می‌کنند.

### ۳-۱-۱-۳- کریستال آستینیت

فاز آستینیت در دمای بالا روی می‌دهد و در تنش‌های پایین پایدار بوده و مسئول ایجاد رفتار سوپر الاستیک

#### ۴- مشخصات مدل و مدل سازی

برای بررسی تأثیر مصالح حافظه دار شکلی بر دیوار برشی بتنی، یک دیوار برشی بتنی همراه با بازشوهای متقارن در نظر گرفته شده است، که توسط جان ونگ در آزمایشگاه مورد بارگذاری استاتیکی متناوب قرار گرفته است (Wang et al. 2010). مشخصات دیوار برشی از نظر ابعاد در شکل (۲) نشان داده شده است. همچنین مشخصات مصالح بتنی در جدول (۱)، مصالح فولادی در جدول (۲)، نحوه آرماتور گذاری و ابعاد المانها در جدول (۳) و مشخصات دیوار برشی در جدول (۴) ارائه شده است.



شکل (۲). ابعاد دیوار برشی بتنی با بازشوهای متقارن (ابعاد به میلی متر)

جدول (۱). مشخصات بتن مورد استفاده در دیوار برشی بتنی

مدول الاستیسیته	مقاومت کششی	مقاومت فشاری
(GPa)	(MPa)	(MPa)
۲۳/۳	۲/۹	۳۲/۷

جدول (۲). مشخصات مصالح فولادی مورد استفاده در دیوار برشی بتنی

مدول الاستیسیته	مقاومت نهایی	مقاومت تسلیم	شماره میلگرد
(GPa)	(MPa)	(MPa)	
۲۰۴	۵۳۸	۴۲۵	D۶
۱۸۰	۵۰۹	۳۶۶	D۱۰
۱۸۹	۵۲۲	۳۶۹	D۱۳
۱۹۴	۵۶۹	۴۰۰	D۱۶
۱۸۳	۶۱۶	۳۸۴	D۱۹
۱۸۷	۶۱۲	۳۹۴	D۲۵

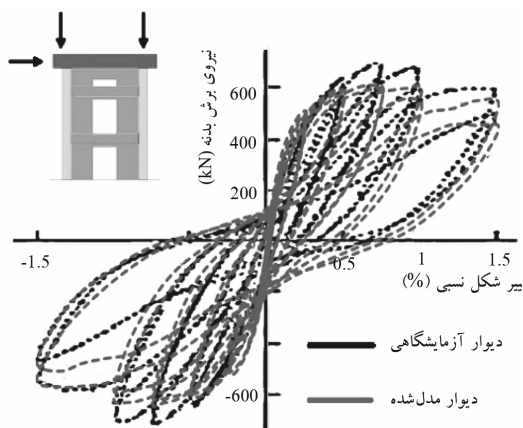
جدول (۳). مشخصات ابعاد المانهای دیوار برشی و نحوه آرماتور گذاری آن

نام المان	ابعاد (mm)	میلگردهای طولی (mm)	میلگردهای خاموت (mm)
ستون	۳۰۰×۳۰۰	۸-D۱۹	۲-Φ۱۰@۷۵
تیر میانی	۲۰۰×۳۰۰	۲-D۱۳	۲-Φ۶@۱۰۰
تیر بارگذاری	۴۰۰×۴۰۰	۴-D۲۵	۴-D۱۰@۱۰۰
پی	۴۰۰×۶۰۰	۲-D۲۵	۲-D۱۰@۱۰۰

جدول (۴). مشخصات ابعاد دیوار برشی و نحوه آرماتور گذاری آن

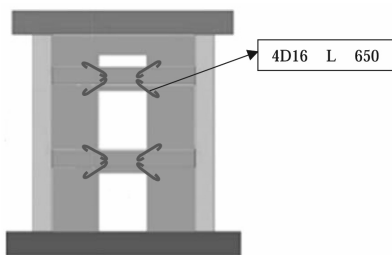
ضخامت (mm)	۸۰
میلگرد قائم (mm)	D۶@۱۰۰
میلگرد افقی (mm)	D۶@۱۰۰
میلگرد قائم اطراف بازشو (mm)	۴-D۱۳
میلگرد افقی اطراف بازشو (mm)	۴-D۱۰

سازه‌ی برشی مورد بحث در نرم افزار ABAQUS مدل شده و برای سازگاری با رفتار واقعی دیواری که در آزمایشگاه تحت بارگذاری متناوب قرار گرفته، تحت همان بارگذاری در نرم افزار ABAQUS قرار می گیرد که نتایج تطابق آنها در شکل (۳) ارائه شده است. پروتکل بارگذاری این دیوار به گونه‌ای می باشد که دو بار هزار کیلو نیوتونی بر روی ستونهای دیوار برشی به طور ثابت در راستای قائم در طول بارگذاری، اعمال می شوند. هر سیکل دو بار تکرار می شود و میزان درصد دررفت نسبی هر سیکل به ترتیب با تلورانس ۰/۰۴، ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۰، ۱/۵ درصد می باشد.

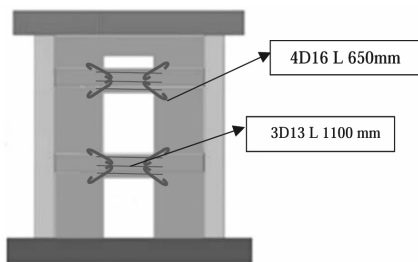


شکل (۳). نمودار بارگذاری چرخشی سازه برشی در دو حالت

تجربی و تحلیلی



شکل (۷). مدل چهارم: SMAS کنج در تیر پیوند دیوار برشی



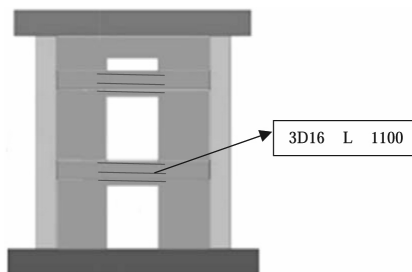
شکل (۸). مدل پنجم: SMAS کنج و طولی در تیر پیوند دیوار برشی

## ۵- نتایج تحلیل

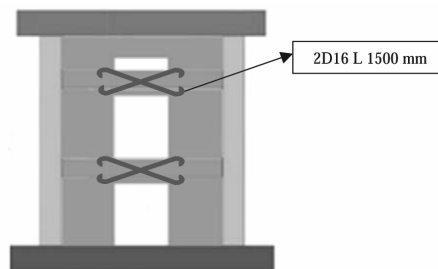
تیر پیوند در دیوار برشی از اهمیت بالایی برخوردار است و عملکرد آن بسیار مهم می‌باشد، آرماتورهای سوپر الاستیک آرماتورهای گران‌قیمتی می‌باشند، پس باید با کمترین مصرف این آرماتور عملکرد دیوار را بالا برد. به همین دلیل فقط با تقویت تیر پیوند دیوار، سعی بر بالا بردن عملکرد دیوار برشی می‌گردد. میزان مصرف مصالح سوپر الاستیک و همچنین اثر آن‌ها بر ضریب رفتار دیوار در چند مدل ذکر شده، متفاوت است. بنابراین می‌توان با توجه به میزان مصرف آرماتورهای سوپر الاستیک و تأثیر آن بر ضریب رفتار، حالت بهینه‌ای برای این آرماتورهای گران‌قیمت یافت، که با کمترین مصرف ممکنه رفتاری بهینه به دیوار بدهند.

نمودار برش پایه‌ی دیوار برشی بتنی در حالات مختلف در شکل (۹) به صورت منحنی و دوخطی و همچنین نتایج آن برای محاسبه ضریب رفتار دیوار برشی در جدول (۵)، ارائه شده است.

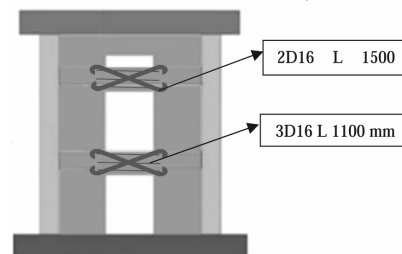
برای ارزیابی اثر مصالح حافظه‌دار شکلی در دیوار برشی بتنی همراه با بازشوی متقارن، در ابتدا دیوار برشی مدل شده تحت اثر بارگذاری متناوب بدون هیچ آرماتور حافظه‌دار شکلی قرار می‌گیرد و سپس آرماتورهای حافظه‌دار شکلی تحت رفتار سوپر الاستیک در چند حالت در تیر پیوند دیوار برشی قرار داده می‌شوند. در این مقاله پنج حالت برای تعبیه‌ی آرماتورهای سوپر الاستیک، در نظر گرفته شده است. این حالات قرارگیری آرماتور سوپر الاستیک در شکل‌های (۴) تا (۸) به صورت نمادین نشان داده شده است. (آرماتورهای طولی SMAS جایگزین آرماتورهای طولی فولادی می‌شوند).



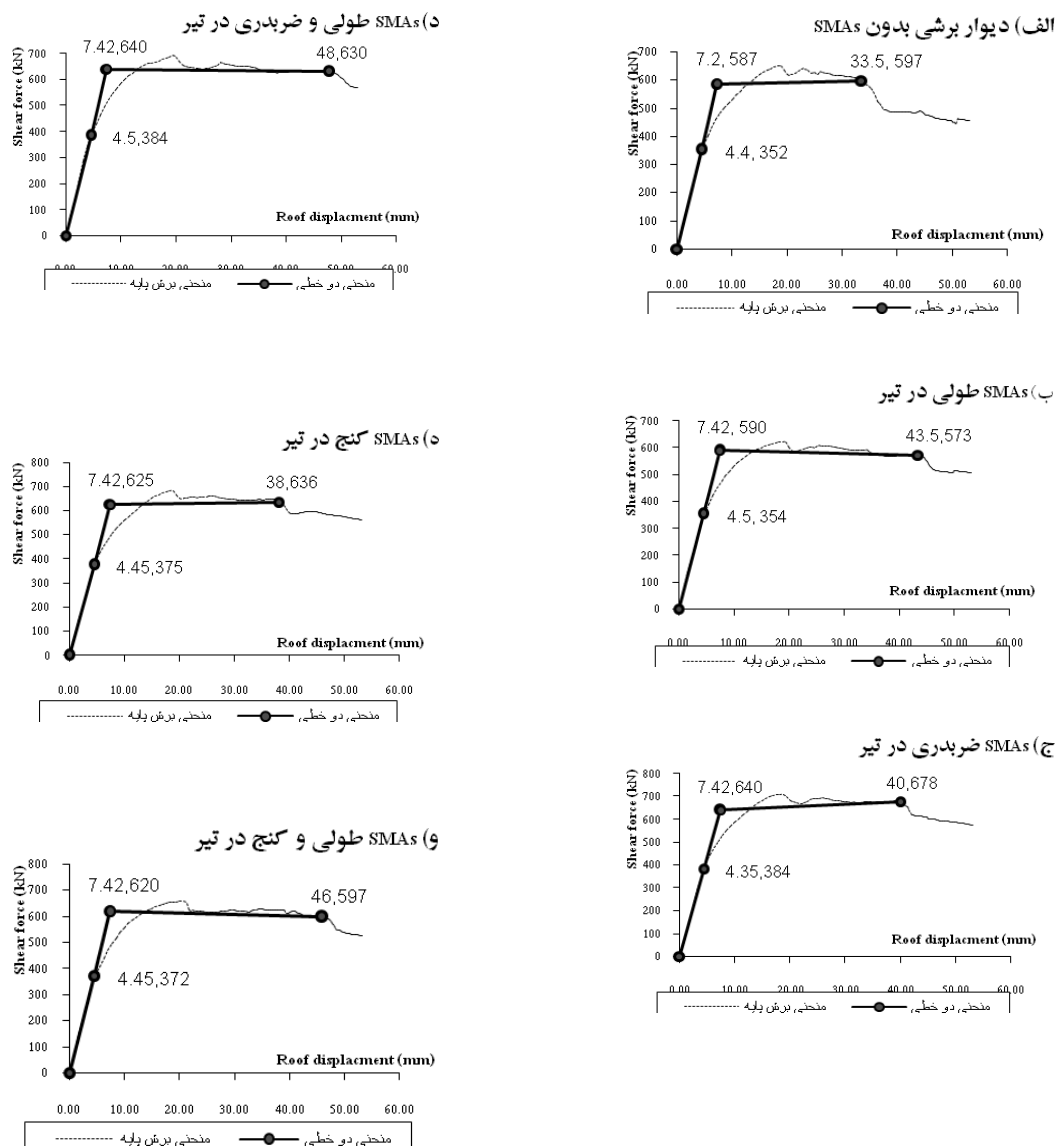
شکل (۴). مدل اول: SMAS طولی در تیر پیوند دیوار برشی



شکل (۵). مدل دوم: SMAS ضربدری در تیر پیوند دیوار برشی



شکل (۶). مدل سوم: SMAS ضربدری و طولی در تیر پیوند دیوار برشی



شکل (۹). نمودارهای برش پایه واقعی و ایده آل دیوار برشی با بازشوهای متقارن در حالات مختلف آرماتورگذاری

جدول (۵). اقتباس داده‌ها از نمودارهای برش پایه دیوار برشی و محاسبه ضریب رفتار آن

مکان آرماتور SMA	$\Delta_y$ (mm)	$\Delta_{max}$ (mm)	$C_y$ (kN)	$C_e$ (kN)	$\mu$	$R_\mu$	$\Omega$	Y	R
دیوار برشی بدون SMA	۷/۲	۳۳/۵	۵۸۷	۳۵۲	۴/۶۶	۲/۸۸	۱/۶۰	۱	۴/۶۱
SMA طولی در تیر	۷/۴۲	۴۳/۵	۵۹۰	۳۵۴	۵/۸۶	۳/۲۸	۱/۵۶	۱	۵/۱۰
SMA ضربه‌ری در تیر	۷/۴۲	۴۰	۶۴۰	۳۸۴	۵/۳۹	۳/۱۳	۱/۵۷	۱	۴/۹۰
SMA طولی و ضربه‌ری در تیر	۷/۴۲	۴۸	۶۴۰	۳۸۴	۶/۴۷	۳/۴۶	۱/۶۰	۱	۵/۵۴
SMA کنج در تیر	۷/۴۲	۳۸	۶۲۵	۳۷۵	۵/۱۲	۳/۰۴	۱/۵۷	۱	۴/۷۶
SMA طولی و کنج در تیر	۷/۴۲	۴۶	۶۲۰	۳۷۲	۶/۲۰	۳/۳۸	۱/۵۹	۱	۵/۳۷

است که با کمترین مصرف آرماتور حافظه‌دار شکلی، بیشترین درصد افزایش ضریب رفتار دیوار برشی ایجاد شود و یا به عبارت دیگر نسبت درصد افزایش ضریب رفتار سازه به نسبت درصد حجمی آرماتورهای سوپر الاستیک مصرفی به بیشترین حد ممکن برسد، که این نسبت در جدول (۶) ارائه شده است.

همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، استفاده از آرماتورهای حافظه‌دار شکلی در فاز رفتاری سوپر الاستیک، سبب افزایش قابل توجه ضریب رفتار دیوار برشی بتنی می‌شوند. ولی میزان این افزایش در حالات مختلف آرماتور گذاری متفاوت است و همچنین میزان حجم مصرفی این آلیاژها در حالات بیان شده یکسان نمی‌باشد. بنابراین بهترین حالت آن

جدول (۶). بررسی نسبت میزان افزایش درصدی ضریب رفتار دیوار برشی به میزان حجم مصرفی آرماتورهای سوپر الاستیک

مکان آرماتور SMAs	ضریب رفتار	در صد افزایش ضریب رفتار نسبت به حالت کاملاً فولادی	حجم آرماتور مصرفی SMAs (m <sup>۳</sup> )	حجم آرماتورهای مصرفی کل دیوار (m <sup>۳</sup> )	در صد حجمی آرماتور SMAs مصرفی به کل آرماتورهای دیوار برشی	نسبت درصد افزایش ضریب رفتار به درصد حجمی مصرفی SMAs
SMAs طولی در تیر	۵/۱۰	٪۱۰/۶۳	۰/۰۰۱۷۶	۰/۰۳۱۳	٪۵/۶۲	۱/۹
SMAs ضربدری در تیر	۴/۹۰	٪۶/۲۹	۰/۰۰۱۲	۰/۰۳۲۵	٪۳/۶۹	۱/۷
SMAs طولی و ضربدری در تیر	۵/۵۴	٪۲۰/۱۷	۰/۰۰۲۹۶	۰/۰۳۲۵	٪۹/۱۱	۲/۲
SMAs کنج در تیر	۴/۷۶	٪۳/۲۵	۰/۰۰۱۰۴	۰/۰۳۲۳۴	٪۳/۲۲	۱/۰
SMAs طولی و کنج در تیر	۵/۳۷	٪۱۶/۴۹	۰/۰۰۲۸	۰/۰۳۲۴	٪۸/۶۴	۱/۹

SMAs طولی و ضربدری از لحاظ عددی از سایر حالات بیشتر می‌باشد، زیرا که تیر پیوند رفتاری ترد در دیوار از خود نشان می‌دهد و نقش یک فیوز را برای دیوار برشی بتنی دارد و هر چه این قسمت از دیوار شکل پذیرتر رفتار کند، می‌تواند تأثیر بسزایی در شکل پذیری و ضریب رفتار دیوار داشته باشد. از آنجایی که آرماتور سوپر الاستیک سختی خوبی در کرنش‌های بالا دارد، بسیار شکل پذیر می‌باشد و استفاده بیشتر آن در تیر پیوند باعث شکل پذیرتر کردن تیر می‌شود.

۳- استفاده آرماتورهای سوپر الاستیک در حالت SMAs در کنج تیر پیوند، با آنکه باعث افزایش شکل پذیری و ضریب رفتار دیوار می‌شود، اما نسبت درصد افزایش ضریب رفتار به درصد حجم مصرفی

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۶) و با در نظر گرفتن نسبت درصد حجمی آرماتورهای سوپر الاستیک مصرفی به درصد افزایش ضریب رفتار دیوار برشی بتنی همراه با بازشوی متقارن، استفاده از این آلیاژها در حالت SMAs طولی و ضربدری در تیر جواب بهینه را می‌دهد و همچنین استفاده آن در حالت SMAs کنج در تیر پیوند دارای بهینه‌گی کمتری بوده است.

## ۶- نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق:

- ۱- استفاده از مصالح حافظه‌دار شکلی، در فاز سوپر الاستیک به علت رفتار بسیار شکل پذیر، سبب افزایش شکل پذیری و ضریب رفتار سازه می‌شود.
- ۲- میزان افزایش ضریب رفتار در هنگام به کارگیری این آلیاژهای سوپر الاستیک در تیر پیوند در حالت



- Motahari, Seyed Ardavan, Mehdi Ghassemieh, and Seyed Ali Abolmaali. 2007. Implementation of shape memory alloy dampers for passive of structures subjected to seismic excitations. *Journal of Constructional Steel Research* 63(12): 1570-1579.
- Uang, Chia-Ming. 1991. Establishing R (or Rw) and Cd Factors for building Seismic provisions *Journal of structural Engineering (ASCE)*117(1):19-28.
- Wang, Ji-yang, Masanobu Sakashita, Susumu Kono, Hitoshi Tanaka, and Wenjuan Lou. 2010. Behavior of reinforced concrete structural walls with various opening locations: experiments and macro model. *journal of zhejiang university, SCIENCE A*. 11(3): 202-211.

آرماتور سوپر الاستیک دارای کمترین مقدار بوده و نسبت به حالات دیگر دارای بهینه‌گی کمتری می‌باشد.

۴- استفاده از آرماتورهای سوپر الاستیک در حالت SMAs ضربدری و طولی در تیر پیوند، از لحاظ بهینگی مصرف و افزایش ضریب رفتار سازه، بهترین حالت ممکن را دارد.

## ۷- منابع

- طاهری بهبهانی، علی اصغر. ۱۳۶۰. نگرشی فلسفی به ضوابط محاسباتی ساختمان‌ها در برابر زلزله. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- قاسمیه، مهدی، مریم صابر دل‌ساده، و مهناز مصطفی‌زاده. ۱۳۸۹. محاسبه ضریب رفتار دیوارهای برشی بتنی مجهز به آلیاژها حافظه‌دار شکلی. ششمین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
- Buehler, William J., and Raymond C. Wiley. 1965. nickel-based alloys. US patent 3,174,851.
- DesRoches, Reginald., and Michael Delemont. 2002. Seismic retrofit of simply supported bridges using shape memory alloys *engineering structures* 24: 325-332.
- DesRoches, Reginald., Jason McCormic, and Michael Delemont. 2004. Cyclic properties of superelastic shape memory alloy wires and bars. *journal of structural engineering* 130(1): 38-46.
- Ghassemieh, Mehdi, Mahnaz Mostafazadeh, and Maryam Saberdel Sadeh. 2007. Seismic of concrete shear wall using shape memory alloys. *journal of intelligent material systems and structures* 23(5): 535-543.
- Newmark, Nathan M., and William J.Hall. 1982. Earthquake spectra and design. *california: earthquake engrg. res. Inst.*

## The Effect of Using Shaped Memory Alloys in the Link Beam of Shear Walls, on the Behavior Coefficient of Walls with Openings

Masih Nemati<sup>1,\*</sup> , Abasali Tasnimi<sup>2</sup>

---

### Abstract

Creating ductility in concrete shear walls requires the use of complex rebars and this complexity can take other forms in the presence of openings in these walls. Ductility plays an important role in forming the behavior of concrete shear walls. In the present paper, we attempt to improve the behavior coefficient of ad hoc concrete shear walls using shaped memory alloys (SMAs). To this end, we modeled a shear wall with symmetric openings in ABAQUS software and then, the experimental behaviors of them were compared. To investigate the effect of these smart materials on the behavior coefficient of the shear wall, 6 different ways of alignment in the link beam of the shear wall were taken into consideration for the steel rebars and shaped memory alloys. The structure behavior coefficient was then calculated for each case. Results showed that in all of the 6 cases, behavior coefficient has increased; however, there were differences between the values of these increases and the way that these super-elastic rebars were placed in the link beam that was proven to be highly influential on these differences. This paper aims at optimizing the use of such materials so that best results are obtained.

**Keywords:** *Concrete shear walls, Link beam, Shapedmemory alloys, Behavior coefficient, Symmetric openings*

---

---

1- Master Candidate., of Civil Engineering, TarbiatModares University

2- Professor, Department of Civil Engineering, TarbiatModares University

\* Corresponding Author: [masih.nemati69@gmail.com](mailto:masih.nemati69@gmail.com)