

تأثیر میراگر پیچشی-تسلیمی بر جذب انرژی ارتعاشی سازه

علیرضا انصاری*

دانشجوی دکتری سازه، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران

سعید عباسی

استادیار، گروه عمران، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

اصغر رسولی

استادیار گروه عمران، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران

ansarialirezacivil@gmail.com

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۹

چکیده:

برای بهبود رفتار سیستم لرزه‌بر و افزایش ظرفیت سازه، استفاده از میراگرها روشی مناسب برای استهلاک انرژی و کاهش تقاضای لرزه‌ای می‌باشد. رفتار سازه‌ها در هنگام زمین لرزه رابطه مستقیم با سختی، شکل پذیری و منحنی‌های هیستریزیس استهلاک انرژی سیستم مقاوم دارد و کنترل و استهلاک انرژی ورودی به سازه به منظور کاهش خسارت ناشی از زمین‌لرزه، روش مناسب برای پاسخ به نیاز سازه‌ها می‌باشد. بدین منظور سیستمی معرفی شده است که با کاربرد آن حین وقوع زلزله و به دلیل شکل پذیری بالایی که دارد مانند یک فیوز عمل نموده و از وقوع خرابی در المان‌های اصلی سازه جلوگیری می‌کند. در این مطالعه نوع خاصی از میراگر تسلیمی با رفتار پیچشی که آن را میراگر تسلیمی-پیچشی یا به اختصار TFD می‌نامیم مورد بررسی قرار می‌گیرد و توان جذب انرژی سازه مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور سیستم پیشنهادی به صورت عددی در نرم افزار ABAQUS مورد بررسی غیر خطی قرار گرفته است و نتایج این تحقیق بدست آمده حاکی از آن است که استفاده از میراگر TFD سبب استهلاک انرژی در عضو رابط شده و سهم سایر اعضای سازه را در جذب انرژی به طور چشم گیری کاهش داده و رفتار سازه را در سطح عملکرد بهتری قرار می‌دهد.

کلید واژگان: میراگر تسلیمی-پیچشی، منحنی بار-تغییر شکل، تحلیل استاتیکی غیر خطی، کنترل سازه، استهلاک انرژی

¹ Torsion Frame Damper

۱- مقدمه

گرچه جلوگیری کامل از خسارات ناشی از زلزله‌های شدید بسیار دشوار است، اما افزایش سطح اطلاعات در رابطه با منطقه لرزه‌خیز، شناسایی و مطالعه دقیق وضعیت آسیب پذیری سازه‌ها، ایمن‌سازی و مقاوم‌سازی صحیح و اصولی آن‌ها می‌تواند تا حد مطلوبی تلفات و خسارات ناشی از زلزله‌ها را کاهش دهد. رابطه (۱) نحوه پاسخ سازه به نیروی خارجی را مشخص می‌نماید.

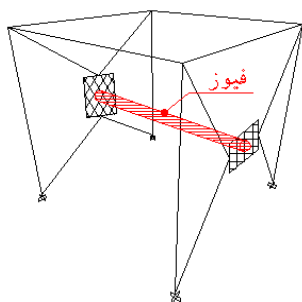
$$E_i = E_k + E_\xi + E_s + E_h \quad ۱$$

که در آن E_i انرژی ورودی، E_k انرژی جنبشی، E_s انرژی کرنش قابل بازگشت الاستیک، E_h مقدار انرژی اتلاف شده تغییر شکل غیر ارتجاعی و E_ξ مقدار انرژی مستهلک شده میراگر می‌باشد [۱]. در سازه‌های مرسوم مورد استفاده، بخش زیادی از انرژی نیروهای جانبی وارد بر سازه در قسمت‌های مختلف و در مفاصل پلاستیک مستهلک می‌شوند، بنابراین هزینه زیادی جهت تعمیر خرابی‌ها پس از زمین‌لرزه‌های بزرگ نیاز است. در دهه‌های گذشته برای کاهش خسارات سازه در هنگام وقوع زلزله سیستم‌های کنترل سازه به‌طور گسترده‌ترش یافته است. به‌طوری که می‌توان سیستم‌های کنترل سازه را به سه بخش اصلی تقسیم‌بندی نمود: الف) سیستم‌های کنترل غیرفعال که در آن‌ها استهلاک انرژی در درون خود سازه بدون استفاده از منبع انرژی خارجی انجام می‌شود ب) سیستم‌های کنترل فعال که در آن‌ها ترکیب منبع انرژی خارجی و هوش مصنوعی به همراه یک سیستم پردازشگر، نیروی خارجی را شناسایی و متناسب با آن نیروی مستهلک‌کننده را تولید و اعمال می‌کنند ج) سیستم‌های کنترل نیمه فعال که در آن‌ها با اعمال نیروی خارجی کوچک از منبع خارجی، برخی ویژگی‌های سازه در راستای میرا نمودن ارتعاشات تغییر می‌دهد. استفاده از سیستم‌های کنترل غیرفعال در سازه روشی مؤثر و به نسبت کم هزینه برای کاهش خطرات در هنگام اثر نیروهای جانبی می‌باشد [۲]. مکانیزم‌های استهلاک انرژی بر پایه ساز و کارهای مختلف طراحی می‌شوند، به عنوان مثال میراگر ویسکوز [۳]، میراگر ویسکوالاستیک [۴ و ۵]، میراگر TMD [۶ و ۷]، میراگر اصطکاکی [۸ و ۹] و میراگر های جاری شونده از انواع طبقه بندی‌های این سیستم هستند. میراگرهای جاری شونده یکی از انواع مختلف سیستم‌های کنترل غیرفعال سازه هستند که مزیت آن‌ها استهلاک انرژی و امکان تعمیر و بازسازی با کمترین هزینه می‌باشد. معروف ترین میراگرهای جاری شونده عبارتند از:

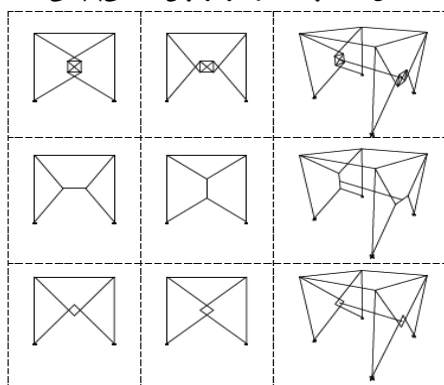
ADAS، TADAS، Rhombic damper، Slit damper، U-shape damper، J-shape damper، Pipe damper، Steel bar damper، Knee brace damper، Accordion damper، Pure bending yielding damper.

۲- معرفی سیستم میراگر نوین تسلیمی پیچشی TFD

در این مطالعه میراگر جدیدی موسوم به میراگر تسلیمی-پیچشی TFD بر مبنای استهلاک انرژی به صورت تغییرشکل‌های غیر-خطی پیچشی پیشنهاد گردیده است. این میراگر از دو قاب بسته که از چهار گوشه خود به بازوی مهاربند ضربدری متصل شده است تشکیل یافته و دو قاب توسط یک عضو افقی به هم متصل می‌گردند. این سیستم به گونه‌ای طراحی می‌شود که در هنگام زمین‌لرزه نیروی جانبی وارد را به تغییر شکل پیچشی در عضو رابط (فیوز) دو قاب تبدیل و از طریق جاری شدن عضو رابط آن را مستهلک می‌نماید.



شکل ۱- نمونه ای از میراگر نوین تسلیمی پیچشی

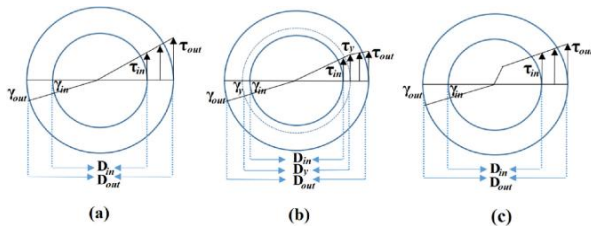


شکل ۲- اعضا تشکیل دهنده میراگر پیچشی تسلیمی TFD

²Tune Mass Damper

۳،۲- رابطه بار تغییر شکل

رابطه بار تغییر شکل مقطع دارای سه حالت الاستیک، الاستوپلاستیک و پلاستیک می‌باشد. حالت الاستیک از هنگام اعمال بارگذاری تا پیش از جاری شدن اولین تار جداره خارجی مقطع را شامل می‌شود، در حالت الاستوپلاستیک بخشی از جداره مقطع جاری شده و بخشی دیگر در حالت الاستیک باقی می‌ماند و در حالت پلاستیک تمام جداره مقطع جاری می‌شود (شکل ۵).



شکل ۵- توزیع تنش- کرنش برشی در جداره لوله a: الاستیک b: الاستوپلاستیک c: پلاستیک

۴- اعتبار سنجی

به منظور اعتبارسنجی مدل‌سازی در ABAQUS از نمونه PIPE21 موجود در مقاله لطفی و همکاران [۱۰] استفاده شده است. در شکل (۶) مشخصات مقاطع مورد استفاده و در شکل (۷) نحوه انجام مطالعه آزمایشگاهی نشان داده شده است.

Specimen	Steel type	D _{out} (mm)	D _{in} (mm)	E (MPa)	F _y (MPa)	F _u (MPa)	ε _u (%)	ε _f (%)
Pipe14	A106	13.4	8	190	530	650	3.0	8.3
Pipe21	St44	20.7	14.2	180	350	474	12.6	14.0
Pipe27	St44	26.6	20.6	180	350	474	12.6	14.0
Pipe31	St44	31.0	24.7	180	350	474	12.6	14.0
Pipe33-3	A106	33.1	27.4	190	530	650	3.0	8.3
Pipe33-4	St52	33.2	24.4	180	370	520	10.0	12.4
Pipe33-6	St44	33.2	20.8	180	350	474	12.6	14.0
Pipe36	St52	36.3	30.2	180	370	520	10.0	12.4
Pipe42	St52	42.1	36.2	180	370	520	10.0	12.4
Pipe48	St44	48.6	41.5	180	350	474	12.6	14.0

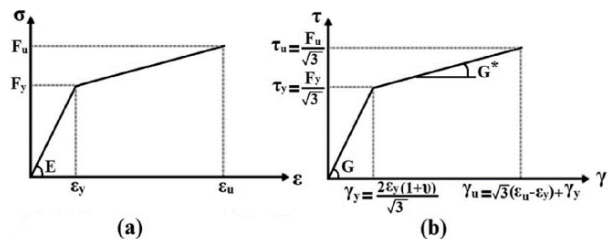
شکل ۶- جدول مشخصات مقاطع [۱۰]



شکل ۷- نحوه انجام آزمایش [۱۰]

۳- بررسی تحلیلی

به منظور بررسی رفتار سیستم میراگر نوین تسلیمی-پیچشی TFD منحنی تنش-کرنش به صورت دو خطی با سخت شوندگی سینماتیکی و با لحاظ معیار فون مایسز در نظر گرفته شده است (شکل ۳).



شکل ۳- نمودار دو خطی ایده آل فولاد: (a) نمودار تنش-کرنش محوری (b) نمودار تنش-کرنش برشی [۱۰]

در این نمودار، منحنی تنش-کرنش برشی مواد براساس معیار فون مایسز بدست آمده است. شیب منحنی بخش سخت شوندگی مجدد نمودار تنش-کرنش برشی مطابق رابطه (۲) محاسبه می‌گردد. که در آن γ_y و τ_y به ترتیب کرنش و تنش برشی جاری شدن ϵ_y و F_y و تنش محوری جاری شدن و ϵ_u و F_u کرنش و تنش محوری نهایی مصالح می‌باشند. در شکل ۳b تنش برشی را می‌توان براساس رابطه (۳) محاسبه نمود.

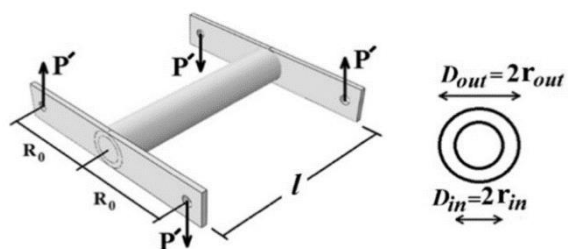
$$G^* = \left(\frac{\tau_u - \tau_y}{\gamma_u - \lambda_y} \right) = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{(F_u - F_y)}{(\epsilon_u - \epsilon_y)} = \frac{1}{3} \frac{F_u - F_y}{\epsilon_u - \epsilon_y} \quad (2)$$

$$\tau = G^* \gamma + (\tau_y + G^* \gamma_y) \quad (3)$$

۳،۱- رابطه پیچش در لوله‌ها با نیروی اعمالی

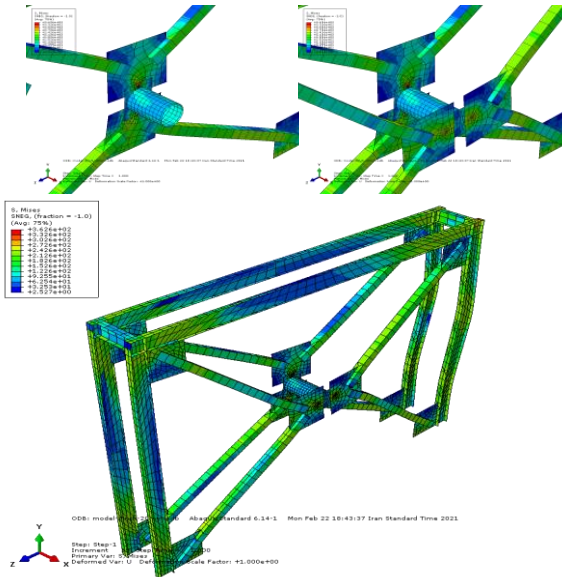
نحوه ایجاد تنش پیچشی خالص در شکل (۴) نشان داده شده است. در تغییر شکل‌های کوچک مقطع به حد جاری شدن نرسیده و زاویه چرخش و لنگر آن کوچک است. بنابراین در این حالت بین نیروی محوری و پیچشی رابطه (۴) برقرار است.

$$P = \frac{T}{2R}$$



شکل ۴- نحوه ایجاد پیچش خالص [۱۰]

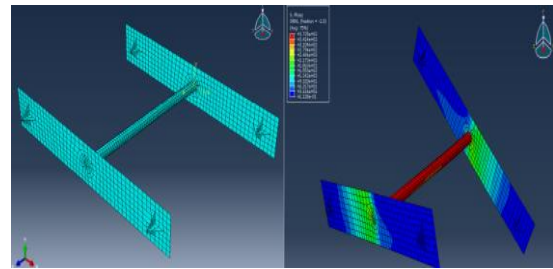
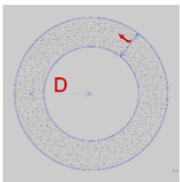
مدل‌ها با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح، با تحلیل استاتیکی غیرخطی استفاده شد. میزان جابه‌جایی هدف در انجام تحلیل مدل‌ها دو درصد ارتفاع سازه منظور شده است.



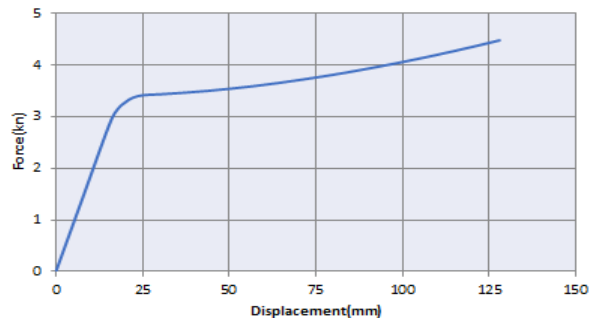
شکل شماره ۱۱- نمای سه بعدی از مدل میراگر تسلیمی پیچشی TFD در نرم افزار ABAQUS

جدول شماره ۱- مشخصات مقاطع مورد استفاده در فیوز

مدل	قطر لوله (in)	ضخامت لوله (mm)
m4in2.5mm	۴	۲/۵
		۶
		۱۰
		۱۵
m4in15mm	۴	۲۰
		۲/۵
		۶
		۱۰
m6in15mm	۶	۱۵
		۲۰
		۲/۵
		۶
m8in15mm	۸	۱۵
		۲۰
		۶
		۱۰

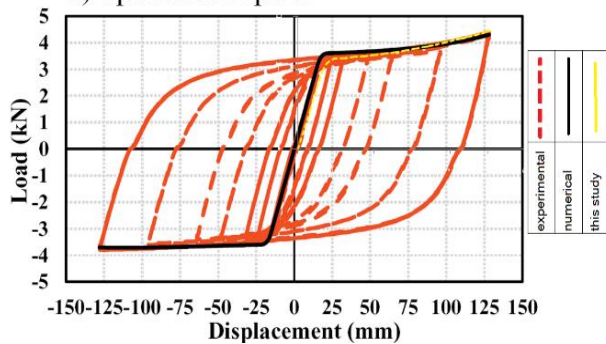


شکل ۸- شماتیک مدل‌سازی انجام گرفته در ABAQUS



شکل ۹- نتیجه مدل‌سازی ABAQUS در مطالعه حاضر

b) Specimen Pipe21

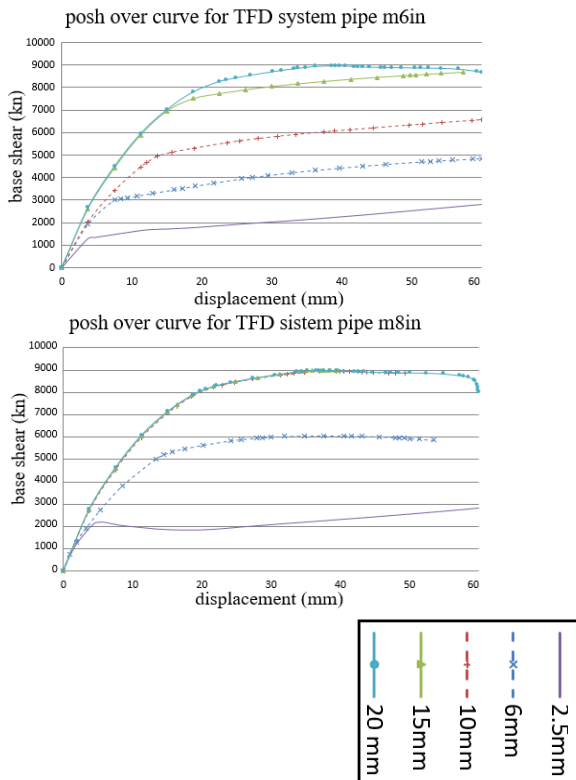


شکل ۱۰- صحت سنجی

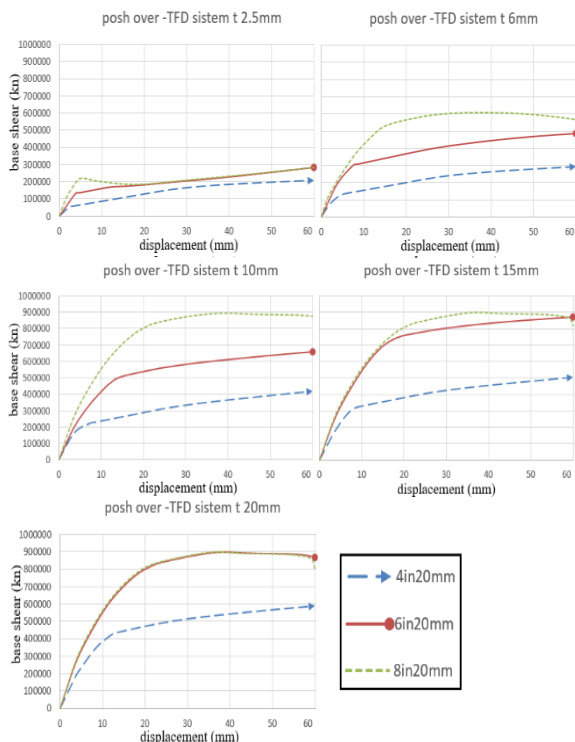
در شکل (۱۰) نتایج حاصل از مدل‌سازی در مطالعه حاضر به همراه نتایج مندرج در مطالعه لطفی و همکاران ارائه گردیده است. انطباق نتایج حاصل از مدل‌سازی و نتایج کار آزمایشگاهی و عددی لطفی و همکاران حاکی از دقت بالای مدل‌سازی انجام گرفته در مطالعه حاضر است.

۵- مدل‌سازی

نرم افزار ABAQUS مجموعه‌ای توانمند جهت مدل‌سازی، تحلیل و شبیه‌سازی است که بر پایه روش اجزاء محدود بوده و توانایی حل طیف گسترده‌ای از مسائل را دارا می‌باشد. آباکوس دارای الگوریتم‌های قوی برای شبیه‌سازی تماس بین قطعات، از جمله قابلیت برقراری تماس بین اجزای مونتاژ شده و تعریف رفتار تماس به صورت اصطکاکی و دمپینگ می‌باشد. برای مطالعه سیستم میراگر پیشنهادی تسلیمی-پیچشی TFD به صورت سه بعدی، از المان SHELL با تریم S4R و بررسی



شکل ۱۲- نمودارهای بار-تغییر مکان مدل‌ها با قطر فیوزهای مختلف؛ محور افقی جابجایی (mm) و محور قائم برش پایه (kN)

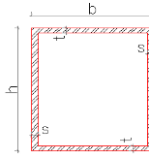


شکل شماره ۱۳- نمودارهای بار-تغییر مکان مدل‌ها با ضخامت ثابت

جدول شماره ۲- مشخصات مقاطع مورد استفاده در قاب

اعضا	مقطع مورد استفاده	طول عضو (mm)
ستون‌ها	IPE160	۳۱۶
تیرهای اصلی	IPE160	۴۰۰
تیرهای فرعی	IPE160	۳۴
مهاربندها	BOX-1	۲۱۰
رابط (فیوز)	PIPE	۵۰

BOX-1	h=80mm	b=92mm
	s=6mm	t=8mm



BOX-1

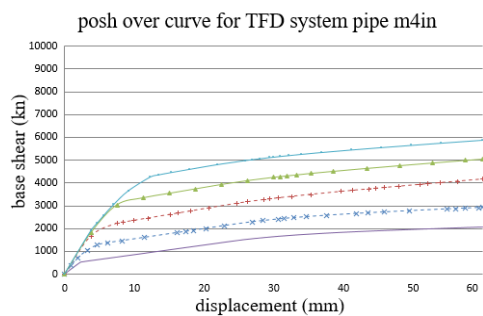
در این مطالعه جهت مقایسه تأثیر تغییر ابعاد بر روی نتایج حاصل و میزان تأثیر آن در جذب نیروی وارده بر سازه، ابعاد مقاطع مورد استفاده در تمام مدل‌ها ثابت در نظر گرفته شده و تنها قطر و ضخامت عضو رابط (فیوز) تغییر داده شده است.

۶- تحلیل سازه

به منظور بررسی مشخصات لرزه‌ای سیستم میراگر تسلیمی-پیچشی TFD، در این بخش از مطالعه مدل‌های انتخاب شده به صورت استاتیکی و غیرخطی تحلیل گردید و نتایج شامل نمودار بار تغییر مکان و انرژی مستهلک شده مورد مقایسه قرار گرفته است.

۶،۱- تحلیل استاتیکی غیر خطی سیستم TFD

در هنگام وقوع زلزله، رفتار سازه‌ها از محدوده الاستیک فراتر می‌رود و بنابراین جهت بررسی مشخصات سازه در حالت غیرارتجاعی، تحلیل استاتیکی غیرخطی یکی از ابزارهای مؤثر می‌باشد که توانایی قابل قبولی در تخمین رفتار غیرخطی سازه را دارد.

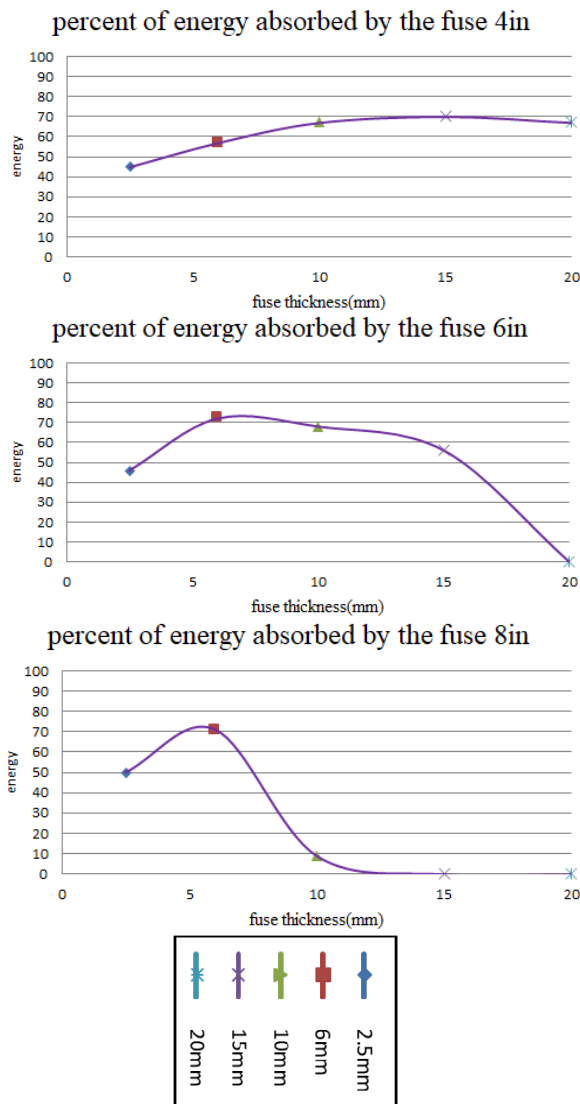


جهت بررسی نحوه عملکرد عضو رابط در مدل‌ها یکی از شاخص‌های مورد مطالعه میزان کارخارجی می‌باشد. قابل پیش‌بینی است که با افزایش ابعاد مقطع میزان کارخارجی نیز افزایش یابد اما مطلب قابل توجه مربوط به مدل‌های m8in10,15,20 و m6in15,20 می‌باشد که با افزایش ابعاد مقطع عضو رابط تغییرات کارخارجی بسیار جزئی می‌باشد.

دو شاخص اصلی در تعیین رفتار سازه سختی و تغییر شکل می‌باشد و در بررسی نمودارهای برش پایه-تغییر مکان به طور خاص به بررسی این دو شاخص می‌پردازیم. با افزایش ابعاد عضو رابط، سختی و شکل پذیری سازه افزایش می‌یابد و توان سیستم در جذب انرژی بیشتر شده است. توجه به مدل‌های m8in10,15,20 و m6in15,20 جالب خواهد بود که با افزایش ابعاد مقطع عضو رابط تغییرات نمودار بار-تغییر مکان بسیار جزئی می‌باشد.

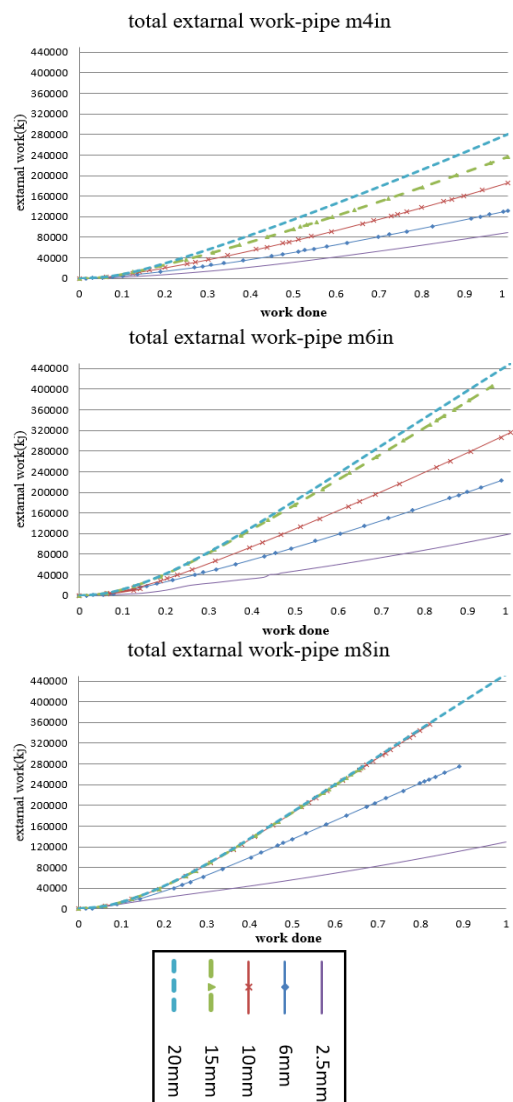
۶,۳- تحلیل میزان انرژی مستهلک شده در سیستم

TFD



شکل شماره ۱۵- نمودار میزان انرژی مستهلک شده در عضو رابط نسبت کل

۶,۲- تحلیل کار خارجی در سیستم TFD



شکل شماره ۱۴- نمودار کارخارجی مدل‌ها

با توجه به نمودارها در شکل (۱۵) مشاهده می شود سیستم میراگر پیشنهادی در صورت انتخاب متناسب ابعاد فیوز و سایر اعضا توان جذب بیش از ۵۰ درصد از انرژی وارده را دارد.

مراجع

[1]Vincenzo C, Alessandro, Samuelli F. Energy dissipation in buildings using special bracing systems. proceeding of 9thEuropean Conference on Earthquake Engineering. 1999: 9-18; Moscow.

[۲]ملکی، الف.، خدایاری، ر.، یوسف پور، ح.، ۱۳۹۵، کنترل فعال سازه‌ها با استفاده از تاندون فعال تحت زلزله‌های حوزه نزدیک، آنالیز سازه - زلزله، ۴۳ ص.

[3]Losanno D, Londono J.M, Zinno S, Serino G. Effective damping and frequencies of viscous damper braced structures considering the supports flexibility. Comput Struct. 2018 ;207: 121-131.

[4]Bahisheikholeslami A, behnamfar F, Ghandil M. A beam-to-column connection with Visco-elastic and hysteretic dampers for seismic damage control. J.Constr. steel res. 2016; 117: 185-195.

[5]Zhang L, Su M, Zhang C, Shen H, M.Islam M, Zhang R. A design method of viscoelastic damper parameters based on the elastic-plastic response reduction curve. soil Dyn. Earthq. Eng.2019; 117: 149-163.

[6]Wang D, Wu C, Zhang Y, Li S. Study on vertical vibration control of long-span steel foot bridge with tuned mass dampers under pedestrian excitation. J.Constr. steel. Res. 2019;154: 84-98.

[۷]ملکی، الف.، اسدپور، م.، خدایاری، ر.، ۱۳۹۳، تعیین موقعیت بهینه میراگر جرمی تنظیم شده به منظور بهبود رفتار لرزه‌ای سازه‌ها، آنالیز سازه - زلزله. ۶۷ص.

[8]Rahmani-Samani H, Mirtaheri M, Hariri-Aedabili M.A. A frictional damping based design methodology for structures. PI civ. Eng. Str. 2016; 169(3): 174-183.

[9]Rahmani-Samani H, Mirtaheri M, Zandi A.P, Bahai H. The effects of dynamic loading on hysteretic behavior of frictional dampers. shock. 2014: 181534.

<http://doi.org/10.1155/2014/181534>.

[10]Lotfi Mohyari S, Tajmir Riahi H, Hashemi M. Investigating the analytical and experimental performance of a pure torsional yielding damper. Journal of Constructional Steel Research 2019;161: 385-399.

تحلیل حساسیت در سازه جزء مسائل مهم در صنعت می باشد و با انتخاب بهینه اعضاء می توان هم به لحاظ فنی و هم به لحاظ اقتصادی نیازهای سازه را پاسخ داد. شکل (۱۵) می تواند در انتخاب ابعاد بهینه مورد استفاده واقع شود. شایان ذکر است عضو رابط در مدل های m8in10,15,20 و m6in20 توان مناسبی جهت استهلاک انرژی ندارد. با بررسی این مدل ها در نرم افزار به کامل معین می باشد که به سبب سختی بالا عضو رابط در این مدل ها سیستم توان استهلاک انرژی از طریق تسلیم پیچشی عضو رابط نداشته و استهلاک انرژی به صورت ایجاد مفاصل پلاستیک در ستون ها و تیرها انجام می شود.

۷- نتیجه گیری

در این مطالعه رفتار لرزه‌ای سیستم میراگر تسلیمی پیچشی TFD مورد بررسی قرار گرفت. مدل سازی در نرم افزار ABAQUS و با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی انجام شد و هدف از این تحقیق، بررسی اثر تغییر ابعاد عضو رابط (فیوز) در این سیستم بود که پس از انجام تحلیل ها و بررسی نتایج می توان به موارد زیر اشاره نمود.

با توجه به نمودارها در شکل (۱۲) و (۱۳) مشاهده می شود با افزایش ابعاد قطر و ضخامت عضو رابط و ثابت بودن ابعاد سایر اعضا قاب، سطح زیر نمودارهای نیرو-تغییر مکان افزایش یافته است. تغییرات حاصل در نمودارها معید این مطلب می باشد که تغییر ضخامت عضو رابط تاثیر بیشتری در نمودار نیرو-تغییر مکان دارد و در نتیجه افزایش ابعاد عضو رابط رابطه مستقیم با جذب انرژی دارد.

در مدل های m8in10,15,20 و m6in15,20 علیرغم افزایش ابعاد مقطع عضو رابط، سیستم میراگر دارای ویژگی های مناسب در پاسخ به بار جانبی نمی باشد. مشاهده می شود در این مدل ها به سبب سختی زیاد عضو رابط نسبت به سایر اعضا، سیستم میراگر در این سازه ها توان جذب انرژی مناسبی ندارد و می بایست ابعاد عضو رابط متناسب با دیگر اعضا قاب باشد.

بررسی نمودارها در شکل (۱۴) نشان می دهد که تغییر قطر عضو فیوز از ۴ اینچ به ۶ اینچ کارخارجی سیستم نزدیک به ۵۰ درصد افزایش یافته است حال آنکه در تغییر ضخامت از ۶ اینچ به ۸ اینچ تغییرات میزان کارخارجی قابل ملاحظه نمی باشد. به نظر می رسد افزایش قطر و ضخامت عضو رابط سبب می گردد تا سیستم از حال میرایی خارج شده و مشابه قاب های مهاربندی شده عمل کند.

Effect of yield-torsional damper on the vibrational Energy Absorption of the Structure

Alireza Ansari

Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Zanzan Branch, Islamic Azad University,
Zanzan, Iran

Saeed Abbasi

Department of Civil Engineering, Zanzan University, Zanzan, Iran

Asghsr Rasouli

Department of Civil Engineering, Zanzan Branch, Islamic Azad University, Zanzan, Iran

Abstract:

To improve the behavior of seismic system and increasing the capacity of structures, using of dampers is a suitable method for energy dissipation and reduction of seismic demand. The behavior of structures during earthquake has a direct relationship with the stiffness, ductility and hysteresis curves of the energy dissipation of the resistant system. Controlling and dissipating the energy input to the structure in order to reduce earthquake damage is a perfect way to meet the needs of structures. For this purpose, a system has been introduced that is utilized as a fuse during the earthquake due to its high ductility and prevents damage to the main elements of the structure. In this study, a specific type of yield damper with torsional behavior named yield-torsional damper or TFD is investigated and the energy absorption capacity of the structure is evaluated. It was observed that this system increases the power of structural energy absorption. For this purpose, the proposed system has been numerically examined nonlinearly in ABAQUS software. The results of this research indicate that the application of TFD dampers results in the structure to depreciate energy in the interface member and significantly reduces the contribution of other structural members in the energy absorption and puts the behavior of the structure at a better performance level.

Keywords: Yield-torsional damper, Pushover curve, nonlinear static analysis, Structural control, Energy dissipation



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license:

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)