تعیین مشخصه بار لغزش میراگرهای اصطکاکی در طبقات مختلف قابهای ساختمانی بر اساس شکلپذیری هدف

سامان باقری ^{*}^۱، علی حدیدی ^۱ و نسرین بسطامی ^۲ ^۱ دانشیار دانشکده فنی و مهندسی عمران، دانشگاه تبریز ^۲ دانشآموخته کارشناسی ارشد زلزله، دانشکده فنی و مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

چکیدہ

میراگرهای اصطکاکی یکی از پرکاربردترین ابزار جاذب انرژی برای کنترل ارتعاشات و کاهش پاسخ سازه در برابر بارهای دینامیکی هستند. مهمترین مشخصه در طراحی این میراگرها بار لغزش آنهاست که انتخاب مناسب آن تأثیر فراوانی بر رفتار لرزهای سازههای مجهز به این نوع میراگرها دارد. در این مقاله روشی برای توزیع یکنواخت تقاضای شکلپذیری در ارتفاع ساختمانهای قاب خمشی مجهز به میراگر اصطکاکی ارائه میشود تا با استفاده از آن بار لغزش میراگرهای طبقات مختلف به دست آید. نتایج حاصل از روش پیشنهادی با روش معمول طیف طرح بار لغزش مقایسه میشود. با تعیین مشخصه بار لغزش میراگرهای طبقات مختلف به دست آید. نتایج حاصل از روش پیشنهادی با روش معمول طیف طرح بار لغزش مقایسه میشود. با تعیین مشخصه بار لغزش میراگرهای طبقات مختلف بر اساس الگوریتم پیشنهادی در مدلهای قاب خمشی فولادی ۳، ۵ و ۱۰ طبقه مجهز به میراگر اصطکاکی، مشاهده شد که رفتار هیسترزیس میراگرها بهبود یافته و میراگرهای تمامی طبقات به طور مؤثری در اتلاف انرژی زلزله مشارکت میکنند. همچنین با یکنواخت شدن توزیع نیاز شکلپذیری در سازه، احتمال تشکیل طبقه نرم کاهش یافته و شاخص خرابی سازه به طور چشمگیری کاهش می اسکال

واژگان کلیدی: میراگر اصطکاکی، بار لغزش، شکل پذیری، زلزله، تحلیل غیر خطی.

۱– مقدمه

میراگرهای اصطکاکی به عنوان یکی از سیستمهای کنترل غیر فعال، برای کنترل ارتعاشات و کاهش پاسخ لرزهای سازهها استفاده میشود. امروزه این میراگرها به دلیل داشتن مزایایی همچون ایجاد چرخههای پایدار در برابر بارهای سیکلی، قابلیت جذب انرژی بالا و سادگی مکانیزم و ساخت، مورد توجه محققان و مهندسان قرار گرفته و استفاده از آنها در حال توسعه است [1]. در دهههای اخیر انواع متنوع میراگرهای اصطکاکی نظیر پال، سومیتومو، اتصالات اصطکاکی و میراگر اصطکاکی دورانی معرفی شده است. در تمامی این میراگرها از خاصیت اصطکاک اجسام لغزنده جامد به عنوان عامل اصلی اتلاف انرژی استفاده میشود.

میراگر اصطکاکی پال به عنوان قدیمی ترین و معروف ترین Marsh ابزار از این نوع میراگرها مطرح است که توسط Marsh و Marsh در سال ۱۹۸۲ پیشنهاد شد [۲]. این میراگر شامل یک سری صفحات اصطکاکی فولادی است که به وسیله پیچهای پرمقاومت فولادی به یکدیگر متصل شده و تحت اثر نیروی مشخصی شروع به لغزش می کند. سایر میراگرهای اصطکاکی موجود نیز با توجه به جزئیات سطوح لغزشی و اتصالات، از هم تفکیک می شوند. در

قابهای ساختمانی، انواع این میراگرها معمولاً در مهاربندهای قطری یا در محل تقاطع مهاربندهای ضربدری و یا در محل تقاطع مهاربند شورون با تیر طبقه قابل نصب میباشد. عملکرد این میراگرها طوری است که حین زلزلههای شدید، به محض تحمیل تغییر شکل جانبی به سازه، میراگرها قبل از وارد شدن مهاربندها و اعضای اصلی سازه به محدوده غیر ارتجاعی فعال شده و قسمت اعظم انرژی ورودی زلزله را به واسطه اصطکاک مستهلک میکنند. همچنین با تغییر پریود مؤثر سازه از ایجاد پدیدهٔ تشدید جلوگیری میکنند. به این ترتیب، به دلیل بالا بودن میزان اتلاف انرژی این میراگرها از طریق رفتار هیسترتیک، نیروهای وارده به سازه به طور قابل ملاحظهای کاهش مییابند.

به منظور بررسی دقیق تر رفتار لرزهای میراگرهای اصطکاکی، شبیه سازی مدل های متعدد بر روی میز لرزان انجام گرفته است. در سال ۱۹۸۵ آزمایش های اولیه بر روی یک قاب سه طبقه مجهز به یکی از میراگرهای اصطکاکی پال، واقع در محل تقاطع مهاربند ضربدری، توسط Filiatrault و Cherry [۳]، در دانشگاه بریتیش کلمبیا انجام گرفت که نتایج آن دو سال بعد به صورت مقالهای انتشار یافت. اندکی بعد، Aiken و همکاران [۴]، نیز همان نوع میراگر اصطکاکی را در یک قاب نه طبقه بر روی

میز لرزان مورد آزمایش قرار دادند. نتایج همه آزمایشها بیانگر کارایی و عملکرد مطلوب این میراگرها تحت بارهای دینامیکی است.

با معرفی انواع دیگر میراگرهای اصطکاکی، طراحی سازههای مجهز به میراگر اصطکاکی نیز در حال گسترش است. مهم ترین پارامتر طراحی در سازههای مجهز به میراگر اصطکاکی بار لغزش میراگر است که انتخاب آن تأثیر فراوانی در رفتار لرزهای و تعیین سطح رفتار غیر ارتجاعی سازه دارد. بنابر این مسأله اصلی در طراحی لرزهای این سازهها، انتخاب مناسب بار لغزش است.

برخی محققین از شاخصهایی نظیر کاهش تغییر مکان، افزایش اتلاف انرژی و کاهش انرژی کرنشی الاستیک برای طراحى بار لغزش استفاده كردهاند. از جمله Filiatrault و Cherry [۵]، با فرض الاستیک ماندن اعضای سازه و یکسان بودن بار لغزش در تمام میراگرها، از شاخص عملکرد نسبی بر اساس حداقل شدن انرژی کرنشی در اعضای سازه برای انتخاب بار لغزش استفاده كردند. تعيين بار لغزش به اين ترتيب تابع خصوصیات سازه و تحریک وارده است و نیاز به انجام تحلیلهای دینامیکی زیادی دارد. آنها در سال ۱۹۹۰ روش طیف طرح بار لغزش را جهت تخمین سریع بار لغزش ارائه کردند که در آن بار لغزش علاوه بر تعداد طبقات، وزن و پريود سازه، تابع پريود خاک و ناحیه لرزه خیزی منطقه نیز می باشد [۶]. Fu و Cherry [۷] روش آییننامهای توزیع بار جانبی را با تعریف یک ضریب اصلاح نیرو (ضریب رفتار)، برای طراحی لرزهای سازههای مجهز به میراگر اصطکاکی به کار بردند. سه پارامتر اساسی در روش آنها، بار لغزش میراگر، جابجایی تسلیم قاب (در نتیجه نیاز شکل پذیری قاب) و سختی سیستم میراگر شامل ابزار میراگر و مهاربند وابسته است. در این مطالعه، رفتار غیر خطی اعضای سازه و سیستم میراگر اصطکاکی با مدل سهخطی شبیه سازی شد.

در سالیان اخیر با گسترش روشهای مبتنی بر جستجو در مباحث بهینهسازی، طراحی بهینه سازههای دارای میراگر نیز مورد توجه جدی قرار گرفته است. به عنوان نمونه Garcia و Soong [۸]، با استفاده از الگوریتم ساده شده جستجوی متوالی (SSSA) و با معرفی شاخصهای کنترلی جابجایی نسبی و سرعت نسبی بین طبقهای، علاوه بر توزیع بهینه میرایی، تعداد و مکان بهینه میراگرهای ویسکوز خطی را تعیین کردند. این روش برای همه میراگرهای ویسکوز خطی ا تعیین کردند. این روش معادل و تقریبی قابل کاربرد است. Moreschi و طکاکی نیز به صورت مطالعهای بر روی طراحی بهینه میراگرهای اصطکاکی و جاری

شونده فلزی انجام دادند. مهمترین پارامترهای طراحی این دو نوع میراگر، به ترتیب بار لغزش، جابجایی تسلیم و سختی میراگر ذکر گردید. آنها دریافتند که به دلیل رفتار غیر خطی این میراگرها، استفاده از روشهای کلاسیک بهینهسازی مبتنی بر گرادیان دشوار میباشد؛ لذا با تعریف توابع هدف مناسب بر اساس ترکیبی از پاسخهای مختلف سازه همانند حداکثر جابجایی نسبی و شتاب طبقات، روش بهینهسازی بر اساس الگوریتم ژنتیک را برای طراحی ارائه کردند که نتایج آن منجر به توزیع بهینه مشخصات میراگرها و بهبود عملکرد لرزهای سازه گردید.

Lee و همکاران [۱۰] برای طراحی سیستم میراگر اصطکاکی در سازه الاستیک، برش طبقات را مبنا قرار دادند. در این مطالعه بار لغزش میراگر به نسبت برش طبقات در قاب خمشی اولیه تعیین شد. آنها در این بررسی نشان دادند که توزیع بار لغزش متناسب با برش طبقه، در کاهش جابجایی نسبی طبقات مؤثرتر از توزیع یکسان بار لغزش در طبقات است.

Apostolakis و I۱] Dargush و Apostolakis قابهای خمشی فولادی با میراگرهای فلزی یا اصطکاکی الحاقی به همراه سیستم مهاربندی را مورد مطالعه قرار دادند. متغیرهای بهینهسازی شامل توزیع ارتفاعی میراگر، نوع میراگر، نیروی تسلیم (در مورد میراگر فلزی) و یا نیروی لغزش (در مورد میراگر اصطکاکی) و سختی مهاربند بوده است. آنها برای حل مسأله بهینهسازی خود از الگوریتم ژنتیک و برای ارزیابی پاسخ سازه بهینه شده با میراگر، از جذر مجموع مربعات جابجایی نسبی طبقات و یا شتاب طبقات استفاده کردند. نتایج حاصل از مقایسه سه نمونه مدل قاب خمشی در حالت قبل و بعد از بهسازی با افزودن بهینه میراگرها نشان دادند که بعد از طراحی بهینه پارامترهای پاسخ اشاره شده در بالا کاهش مییابد و توزیع شتاب طبقات و جابجایی نسبی طبقات یکنواخت تر می شود. در نتیجه نیاز شکلپذیری طبقات نیز یکنواخت ر می گردد. همچنین آنها نتیجه گرفتند که توزیع میراگرها در ارتفاع سازه به منظور بهسازی آن باید بر اساس نیاز شکلپذیری طبقات صورت پذیرد. مطالعات اخیر نشان دادهاند که به هنگام زلزلههای قوی، در

سازههایی که به روشهای مرسوم طراحی شدهاند، نیاز شکلپذیری و جابجایی طبقات به طور یکنواخت توزیع نمی شود. به عبارت دیگر می توان گفت توزیع نامناسب مقاومت و سختی باعث توزیع نامناسب تقاضای شکلپذیری در طبقات مختلف و احتمال به وجود آمدن طبقه نرم می شود [۱۲–۱۴]. در نتیجه می توان گفت که در هنگام زلزلههای شدید، زمانی که بعضی از

اعضای سازهای به حداکثر ظرفیت لرزهای خود رسیدهاند، بخشهایی از سازه هنوز با مقادیر مجاز ظرفیت لرزهای خود فاصله قابل توجهی دارند. این موضوع بیانگر این خواهد بود که بخشی از مصالح مصرفی در سازه بلااستفاده مانده و از تمام ظرفیت آن مصالح استفاده نشده است. در صورتی که تدبیری اندیشیده شود تا مصالح از قسمتهای بلااستفاده به قسمتهای مورد نیاز انتقال یابد، میتوان به توزیع یکنواخت تری برای نرمی یا تغییر شکل دست یافت. مطالعات Karami و همکاران [۱۲] و نیز Moghaddam و Moghaddam [۱۳] نشان داده است که میتوان با در نظر گرفتن این موضوع، به توزیع بهینه تر مقاومت و سختی دست یافت. ابزار آنها در این فرایند بهینه سازی، نحوه توزیع نیروی جانبی زلزله برای طراحی ساختمان بود.

در مقاله حاضر نشان داده می شود، چنانچه بار لغزش میراگرهای اصطکاکی به عنوان مهم ترین مشخصه طراحی آنها، در تمامی طبقات قابهای خمشی فولادی به طور یکسان در نظر گرفته شود، توزیع تقاضای شکل پذیری در ارتفاع سازه لزوماً به صورت یکنواخت انجام نمی گردد؛ به عبارت دیگر از تمامی ظرفیت مصالح مصرفی استفاده نشده و طراحی بهینه نخواهد بود. لذا روشی پیشنهاد می شود که با متغیر فرض کردن بار لغزش میراگرها در طبقات مختلف قاب خمشی و با استفاده از الگوریتم رسیدن به تقاضاهای شکل پذیری یکنواخت در طبقات، سازه بهینه از نقطه نظر توزیع ابزار میراگر در ارتفاع حاصل آید. برخلاف سایر الگوریتم های بهینه سازی اشاره شده در مرور برخلاف سایر الگوریتم های بهینه سازی اشاره شده در مرور عرب حال سریع و کارا می باشد.



شکل ۱– مدل رفتاری قاب مجهز به سیستم میراگر اصطکاکی

اصول کارکرد تمامی میراگرهای اصطکاکی، مشابه یکدیگر و بر اساس اصطکاک اجسام لغزنده جامد به عنوان عامل اصلی اتلاف انرژی میباشد. بنابر این پارامتر اصلی طراحی همه این نوع میراگرها، مشترک و همان بار لغزش میراگر (F_S) است. به این ترتیب نتایج به دست آمده از این مطالعه، برای هر نوع میراگر اصطکاکی که مطابق شکل (۱) در داخل یک قاب خمشی بین تیر طبقه و مهاربند ۸ نصب میشود، صادق هستند.

۲- هندسه مدلها و فرضيات تحليل و طراحي

در قابهای خمشی مجهز به میراگر اصطکاکی، سیستم میراگر اصطکاکی خود شامل ابزار میراگر و مهاربند میباشد. شکل (۱) رفتار دوخطی سیستم میراگر اصطکاکی، حاصل از عمل سری رفتار پلاستیک-صلب میراگر اصطکاکی و الاستیک اعضای مهاربند را نشان میدهد. با توجه به این که مهاربند نباید قبل از لغزش میراگر وارد حوزه غیر خطی شود، نیروی تسلیم قبل از لغزش میراگر و جابجایی تسلیم آن برابر با نسبت بار لغزش میراگر و جابجایی تسلیم سیستم میراگر خود نیز با قاب به صورت موازی عمل میکند و با فرض عدم تسلیم قاب قبل از لغزش میراگر، جابجایی تسلیم طبقه همان جابجایی تسلیم سیستم میراگر (ابزار میراگر + مهاربند) خواهد بود.

برای بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی که در بخشهای بعدی به طور کامل توضیح داده میشود، از مدلهای قاب خمشی دو بعدی فولادی ۳، ۵ و ۱۰ طبقه مجهز به میراگر اصطکاکی که بر روی بادبندهای ۸ شکل نصب گردیده، استفاده شده است. در این مدلها، طول دهانه، ارتفاع طبقات و عرض باربر آنها مطابق مشخصات ساختمانهای متعارف به ترتیب پنج، سه و پنج متر میباشد. هندسه این مدلها در شکل (۲) نشان داده شده است.

در این تحقیق، نرمافزار SAP2000 [۱۵] برای مدلسازی و تحلیل مورد استفاده قرار گرفته و از مباحث ششم [۱۶] و دهم [۱۷] مقررات ملی ساختمان جهت بارگذاری و طراحی اولیه اعضای سازهای مدلها استفاده شده است. بار مرده و زنده قابها با فرض کاربری مسکونی به ترتیب ۵۰۰ kg/m² و ۲۰۰ kg/m² منظور شده است. برای بارگذاری لرزهای نیز ناحیه احداث سازه، منطقه با خطر لرزهخیزی بسیار زیاد و خاک آن از نوع *III* در نظر گرفته شده است. به این ترتیب مقاطع سازهای قابها و مهاربندها حاصل شده است که به عنوان نمونه در جداول (۱) و (۲) برای قاب سه و پنج طبقه نشان داده شده است. وزن قاب

سه طبقه ۱۲۶ تن، پنج طبقه ۲۱۴ تن و ده طبقه ۴۳۳ تن است. (T_u) زمان تناوب اصلی این قابها به صورت قاب خمشی خالی به ترتيب ١/٥٣، ١/٥۴ و ١/٩٧ ثانيه، و به صورت قاب خمشي دارای مهاربند (T_b) به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۳۵ و ۱/۱۷ ثانیه است.



شکل ۲ – هندسه مدلهای استفاده شده در این تحقیق

مهاربند	تیر میانی	تیرهای	ستونھای	ستونھای	مأيقه
		كنارى	میانی	كنارى	طبقه
BOX70	IPE270	IPE270	HEA200	HEA200	٣
BOX80	IPE270	IPE270	HEA200	HEA200	٢
BOX80	IPE270	IPE270	HEA220	HEA200	١

جدول ۱- مشخصات مقاطع اعضای قاب ۳ طبقه

100	II E270	II E270	IILA200	IIEA200	
X80	IPE270	IPE270	HEA220	HEA200	١

جدول ۲- مشخصات مقاطع اعضای قاب ۵ طبقه

مهاربند	تیر میانی	تیرهای	ستونھای	ستونھاي	ut ta
		كنارى	میانی	كنارى	طبقه
BOX70	IPE270	IPE270	HEA200	HEA200	۵
BOX80	IPE270	IPE270	HEA200	HEA200	۴
BOX90	IPE270	IPE270	HEA220	HEA220	٣
BOX90	IPE270	IPE270	HEA260	HEA220	٢
BOX90	IPE270	IPE300	HEA280	HEA240	١

جدول ۳- مشخصات شتابنگاشتهای زلزلههای انتخابی

.1.1.	16. 1	14	DC (خاک
زلزله	M ایستگاه		PGA	(USGS)
Imperial Valley 1979	H-E06230	۶/۵	•/۴۴ g	С
Duzce 1999	DZC270	٧/١	۰/۵۴ g	С
Cape Mendocino 1992	PET090	٧/١	•/ ۶ ۶ g	С

رفتار تمامی اعضای سازهای بهغیر از میراگرها به صورت خطى فرض شده است. نحوه انتخاب مشخصه بار لغزش ميراگرها به ترتیبی که در ادامه میآید و کنترل صورت گرفته بر روی

اعضای قاب، این فرض را برآورده میسازد. البته با تعریف مفاصل پلاستیک برای مهاربندها، ستونها و تیرها در طرح اولیه و گام نهایی بهینهسازی، صحت این فرض کنترل گردیده است.

برای مدل کردن رفتار غیر ارتجاعی میراگرهای اصطکاکی از مدل دوخطى الاستوپلاستيک استفاده شده است. سختى اوليه میراگر اصطکاکی در حالت رفتار ایدهآل کولمب بینهایت میباشد و بعد از وقوع لغزش نیز سختی کاملاً صفر میشود. در عمل به دلیل عدم صلبیت اجزا و اتصالات میراگر، سختی اولیه قبل از مرحله لغزش بينهايت رياضي نبوده ولي مقدار بسيار بزرگی است. در این پژوهش مطابق توصیه شرکت سازنده ميراگرهاى اصطكاكى پال، سختى الاستيك ميراگر برحسب واحد کیلونیوتن بر متر در حدود ۱۰۰۰ برابر بار لغزش میراگر برحسب کیلونیوتن فرض شده و نسبت سختی بعد از تسلیم به سختی الاستیک نیز ۰/۰۰۰۱ در نظر گرفته شده است. در حقیقت با این فرض برای سختی اولیه، تغییر شکلهای الاستیک اجزای میراگر در آستانه لغزش یک میلیمتر در نظر گرفته میشود.

شتابنگاشتهای انتخابی برای انجام تحلیلهای دینامیکی تاریخچه زمانی همگی ثبت شده بر روی خاک نوع III هستند تا با فرض صورت گرفته برای نوع زمین در طراحی لرزهای قابها هماهنگ باشند و از لحاظ محتوای فرکانسی نیز سعی شده است متنوع باشند. مشخصات کامل رکوردهای مورد استفاده در جدول (۳) آمده است. برای استفاده از این شتابنگاشتها با توجه به این که بعداً از نتایج زلزلههای مختلف میانگینگیری خواهد شد، حداکثر شتاب زمین در آنها به ۰/۳۵g مقیاس شده است. در کلیه تحلیلهای تاریخچه زمانی غیر خطی میرایی سازه (غیر از میراگر الحاقی) به صورت میرایی متناسب با جرم و سختی (فرض رایلی) و با نسبت میرایی ٪۵ در نظر گرفته شده است.

٣- تخمين اوليه بار لغزش ميراگرها

در این مقاله برای تخمین اولیه بار لغزش میراگرها از روش طيف طرح بار لغزش كه توسط Filiatrault و Cherry [۶] ارائه گردیده، استفاده شده است. شایان ذکر است که این تخمین اوليه فقط حكم نقطه شروع را براى الگوريتم ارائه شده در بخش بعد دارد و هر تخمین منطقی دیگر نیز می توانست به کار رود. همچنین نتایج به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی این مقاله با نتايج روش طيف طرح بار لغزش به عنوان يک روش معمول طراحي [1] مقايسه مي شوند.

در روش طيف طرح بار لغزش دو پارامتر بي بعد α و β مطابق روابط (۱) و (۲) تعریف می شوند:

$$\alpha = (-1.24N_s - 0.31)T_b / T_u + 1.04N_s + 0.43$$
 (1)

$$\beta = (-1.07N_s - 0.1)T_b / T_u + 1.01N_s + 0.45$$
 (7)

در روابط بالا، N_s تعداد طبقات، T_u پریود اصلی قاب خمشی اولیه و T_b پریود اصلی قاب خمشی مهاربندی شده است. با تعیین پارامترهای بیبعد یادشده، نمودار طیف طرح بار لغزش مطابق شکل (۳) به صورت دوخطی خواهد بود. مسلم است که قسمت اول این نمودار مطابق رابطه ساده زیر خواهد بود:

$$V_0 / ma_g = T_g / T_u \times \alpha \qquad T_g / T_u \le 1 \tag{(7)}$$

در شکل (۳) و رابطه بالا، m جرم سازه، a_g حداکثر شتاب زمین، T_g پریود غالب زمین و V_0 کل برش لغزش میراگرهاست. این برش کل به طور یکنواخت بین طبقات توزیع می شود تا سهم هر طبقه (V_s) به دست آید:

$$V_s = V_0 / N_s \tag{(f)}$$

با توجه به زاویه قرارگیری میراگرها و تعداد آنها در هر طبقه، بار لغزش هر میراگر از توزیع *V*_s به دست میآید. برای یک میراگر قرار گرفته بین مهاربند شورون و تیر طبقه، بار لغزش آن میراگر همان *V*_s خواهد بود.



برای مدلهای سازهای مورد تحلیل در این مقاله، a_g برابر با T_g برابر با مشخصات منطقه با خطر T_g و T_g برابر با V۲۵ (مطابق با مشخصات منطقه با خطر نسبی لرزهخیزی خیلی زیاد و خاک نوع III) است. مقادیر اولیه حاصل برای بارلغزش میراگرها برحسب درصدی از وزن سازه V/mg) در جدول (۴) آورده شده است. در بخش بعد، این

مقادیر انتخابی اولیه طی یک فرایند بهینهسازی در طبقات مختلف اصلاح می شوند تا توزیع نیاز شکل پذیری در طبقات مختلف یکسان و برابر با مقدار هدف انتخابی گردد.

جدول ۴ – مقادیر اولیه بار لغزش میراگرها بر حسب درصدی از

سازه	وزن
------	-----

ده طبقه	پنج طبقه	سه طبقه	
۴۰٪	۵۰٪.	۵۲٪.	کل میراگرها
۴%	١٠٪	۱۲٪.	هر طبقه

۴- الگوریتم توزیع بهینه مشخصه بار لغزش میراگرها

هدف اصلی در این پژوهش، ارائه روشی برای توزیع بهینه مشخصه بار لغزش میراگرهای اصطکاکی در ارتفاع قابهای خمشی است تا با اجرای آن بتوان برای هر سطح رفتار غیر ارتجاعی سازه و شکل پذیری هدف انتخابی، به توزیع یکنواخت تقاضای شکل پذیری در تمام طبقات دست یافت. از دیدگاه افزایش انرژی مستهلک شده توسط میراگر، انتخاب بار لغزش کمتر مناسبتر است؛ در حالی که برای محدود کردن تقاضای شکل پذیری و جابجایی طبقات در زلزلههای شدید، بار لغزش میراگر باید به اندازه کافی بزرگ باشد. در این پژوهش مشخصه بار لغزش میراگرها (F_s) به صورت یک متغیر که در حجم مصالح مصرفی در میراگرها و مقاومت و شکل پذیری طبقات مؤثر است، مورد توجه قرار گرفته است. از مزایای الگوریتم پیشنهادی، ساده و كاربردى بودن آن، و قابليت انطباق آن با هر سطح رفتارى مورد نظر برای سازه با انتخاب شکل پذیری هدف دلخواه است. قابل ذكر است كه قبلاً روندى مشابه براى توزيع بهينه سختى میراگرهای فلزی جاری شونده در ارتفاع ساختمانهای قاب خمشی فولادی به منظور یکنواخت کردن تقاضای تغییر شکل نسبی طبقات با موفقیت به کار گرفته شده است [۱۸]. برای رسیدن به اهداف ذکر شده، الگوریتم زیر گام به گام اجرا مىشود:

۱- ابتدا مشخصات سازه مورد نظر بدون وجود دستگاه میراگر تعیین میشود. این مشخصات ممکن است از سازه موجودی که مقرر است با افزودن میراگر بهسازی شود، استخراج گردند و یا در فرایند طراحی به دست آیند. برای حل مثالهای در نظر گرفته شده در این مقاله، اعضای قاب خمشی و مهاربندها برای ترکیب بارهای ثقلی و جانبی مبحث ششم مقررات ملی ساختمان [۱۲] و مطابق ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [۱۷] طراحی شدهاند.

۲- مقادیر اولیه بار لغزش میراگرها با استفاده از روش طیف طرح بار لغزش مطابق توضیحات بخش (۳) و یا هر تخمین منطقی دیگر انتخاب میشود. برای حل مثالهای در نظر گرفته شده در این مقاله، مقادیر مذکور در جدول (۴) آورده شده است. مطابق روش فوقالذکر، بار لغزش اولیه میراگرها در تمامی طبقات یکسان است.

۳- به منظور تعیین سطح رفتار غیر ارتجاعی برای سازه مورد نظر، شکلپذیری هدف (μ₁) انتخاب میشود. در این پژوهش برای حل مثالهای در نظر گرفته شده، شکلپذیریهای هدف ۴، ۶ و ۸ انتخاب شدهاند.

۴- از نتایج تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی سازه تحت شتابنگاشت مورد نظر، مقادیر نیاز شکل پذیری هر طبقه (µ) از رابطه (۵) محاسبه می شود:

$$\mu_i = \frac{\Delta u_i}{\Delta y_i} \tag{(a)}$$

 Δy_i و *i* مو نوق نام و Δy_i جابجایی نسبی نهایی طبقه *i* م و Δy_i جابجایی نسبی تسلیم طبقه است. در حالت کلی با فرض لغزش میراگرهای اصطکاکی قبل از رفتار غیر ارتجاعی اعضای سازهای، جابجایی نسبی تسلیم سیستم میراگر اصطکاکی است که مطابق توضیحات قبلی و شکل (۱) از رابطه (۶) به دست میآید:

$$\Delta y_i = \frac{(F_s)_i}{(K_b)_i} \tag{9}$$

در رابطه فوق، $(F_s)_i$ بار لغزش میراگر اصطکاکی طبقه iام و $(K_b)_i$ سختی جانبی مهاربند موجود در سیستم میراگر طبقه iام است.

 $\Delta - a$ مقایسه نیاز شکلپذیری طبقات (μ_i) با شکلپذیری هدف (μ_i) با استفاده از پارامتر CoV مطابق رابطه (۷) صورت میپذیرد. این پارامتر در حقیقت بیان کننده ضریب تغییرات نسبت به شکلپذیری هدف است. این کمیت هرچه کوچکتر باشد، توزیع نیاز شکلپذیری در طبقات یکنواختتر و به مقدار هدف نزدیکتر است. اگر ضریب تغییرات به اندازه کافی کوچک باشد ($CoV \ge 0.01$)، عملیات متوقف می شود. در غیر این صورت به گام بعدی مراجعه می شود.

$$CoV = \frac{1}{\mu_t} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\mu_i - \mu_t)^2}$$
(Y)

۶- بدون تغییر در سطح مقطع اعضای سازهای، از بار لغزش میراگرهای طبقاتی که نیاز شکل پذیری آنها کمتر از مقدار هدف است، کاسته شده و به بار لغزش میراگرهای طبقاتی که نیاز شکل پذیری بیشتر از مقدار هدف دارند، افزوده می شود. برای همگرایی در محاسبات، این تغییرات باید به صورت تدریجی و با استفاده از رابطه (۸) انجام گیرد:

$$\left[(F_s)_i \right]_{n+1} = \left[(F_s)_i \right]_n \left[\frac{\mu_i}{\mu_i} \right]^{\alpha} \tag{A}$$

در رابطه فوق، n شماره گام مورد نظر و α توان تکرار است که عددی کمتر از واحد بوده و تنظیم کننده سرعت و اطمینان همگرایی میباشد.

۷- سازه با مشخصههای جدید بار لغزش میراگرها در طبقات مختلف، مجدداً تحت همان شتابنگاشت تحلیل تاریخچه زمانی شده و به گام ۴ مراجعه میشود.

با انجام و تکرار مراحل بالا، در نهایت همگرایی حاصل شده و توزیع بهینه بار لغزش میراگرهای اصطکاکی در طبقات مختلف بر اساس شکلپذیری هدف انتخابی به دست میآید.

۵- نتایج و بحث ۵-۱- توزیع بار لغزش میراگرها و شکل پذیری طبقات

الگوریتم پیشنهادی بر روی مدلهای توصیف شده در بخش (۲) پیاده شد تا کارایی آن را بتوان ارزیابی کرد. در شکل (۴) روند همگرایی این الگوریتم در قاب خمشی پنج طبقه تحت اثر زلزله کیپمندوسینو برای رسیدن به شکلپذیری هدف ۶ نشان داده شده است. مشاهده میشود که در طرح اولیه ضریب تغییرات بزرگ بوده (۲۸۱/= CoV)، که بیانگر توزیع غیر یکنواخت تقاضای شکلپذیری در طبقات است. اما فقط با سه مرحله تکرار الگوریتم پیشنهادی، توزیع شکلپذیری عملاً یکنواخت و برابر با مقدار هدف انتخابی میشود، به طوری که ضریب تغییرات به کمتر از ۲/۰۱ تقلیل مییابد ضریب حاری (CoV = -1/0).



شکل ۴- نحوه همگرایی الگوریتم پیشنهادی به شکل پذیری هدف از طرح اولیه تا طرح نهایی بهینه در قاب خمشی پنج طبقه تحت زلزله کیپ مندوسینو

در شکلهای (۵) تا (۷)، نحوه توزیع نیاز شکل پذیری طبقات و بار لغزش میراگرهای طبقات قابهای خمشی فولادی ۳، ۵ و ۱۰ طبقه در دو حالت طراحی اولیه مطابق روش طیف طرح بار لغزش با بار لغزش یکسان میراگرها در طبقات مختلف و طراحی نهایی مطابق با الگوریتم بهینهسازی پیشنهادی ملاحظه میشود. این نمودارها از نتایج حاصل از تحلیلهای تاریخچه زمانی مدلها، تحت شتابنگاشت زلزله کیپ مندوسینو و با شکل پذیری هدف ۶ به دست آمدهاند.



شکل ۵- نیاز شکلپذیری طبقات و بار لغزش میراگرهای قاب سه طبقه در طرح اولیه و طرح نهایی بهینه تحت زلزله کیپمندوسینو برای شکلپذیری هدف ۶



شکل ۶- نیاز شکل پذیری طبقات و بار لغزش میراگرهای قاب پنج طبقه در طرح اولیه و طرح نهایی بهینه تحت زلزله کیپمندوسینو برای شکل پذیری هدف ۶



شکل ۷- نیاز شکل پذیری طبقات و بار لغزش میراگرهای قاب ۱۰ طبقه در طرح اولیه و طرح نهایی بهینه تحت زلزله کیپمندوسینو برای شکل پذیری هدف ۶

در شکلهای یاد شده مشاهده میشود، اختصاص بار لغزش یکسان به میراگرهای طبقات مختلف باعث به وجود آمدن توزیع غیر یکنواخت تقاضای شکلپذیری در ارتفاع سازه شده است؛ به طوری که در قابهای سه و پنج طبقه، تقاضای شکلپذیری در طبقات بالا کمتر و در طبقات پایین بیشتر از مقدار هدف است و در قاب ۱۰ طبقه نیز این پارامتر در طبقات میانی بیشتر و در طبقات فوقانی و تحتانی کمتر از مقدار هدف انتخابی میباشد. ولی بعد از اعمال الگوریتم بهینهسازی پیشنهادی، نیاز شکلپذیری طبقات یکسان گشته و بار لغزش میراگرهای طبقات مختلف توزیع غیر ثابتی در ارتفاع سازه دارد.

در شکلهای (۸) تا (۱۰)، نتایج حاصل از سه شتابنگاشت انتخابی در بخش (۲)، میانگین گیری شده و نمودارهای توزیع نیاز شکل پذیری و بار لغزش در طبقات مختلف به ازای شکل پذیریهای هدف متفاوت (۴، ۶ و ۸) رسم شده است. در شکلهای (۸) و (۹) مشاهده می شود که نحوه توزیع بهینه مشخصه بار لغزش میراگرها به گونهای است که این مقدار در طبقات فوقانی کم تر از طبقات تحتانی می باشد. در حالی که نحوه توزیع بهینه این پارامتر در قاب ۱۰ طبقه مطابق شکل (۱۰)، به گونهای است که در طبقات فوقانی و تحتانی کم تر از طبقات میانی می باشد. در حالت کلی با توجه به شکلهای (۸) تا (۱۰) می توان گفت که با توزیع بهینه بار لغزش میراگرها در ارتفاع سازه، توزیع نیاز شکل پذیری طبقات یکنواخت تر شده و رفتار لرزهای سازه بهبود می یابد.

۵-۲- تأثیر شکل پذیری هدف

نحوه تغییرات بار لغزش میراگرها با انتخاب شکل پذیریهای هدف متفاوت (۴، ۶ و ۸) برای قابهای ۳، ۵ و ۱۰ طبقه را می توان در شکلهای (۸) تا (۱۰) مشاهده کرد. ملاحظه می شود

که روند تغییرات به ازای تمام شکل پذیری های هدف انتخابی یکسان است؛ به عبارت دیگر در کلیه قاب ها افزایش شکل پذیری های هدف انتخابی، الگوهای توزیع بار لغزش در ارتفاع، بدون تغییر به سمت چپ انتقال می یابند، یعنی بار لغزش میراگرها در طبقات کاهش می یابد.



شکل ۸- نیاز شکل پذیری طبقات و بار لغزش میراگرهای قاب سه طبقه در طرح اولیه و طرح نهایی بهینه از میانگین سه زلزله برای شکل پذیری هدف مختلف



شکل ۹- نیاز شکلپذیری طبقات و بار لغزش میراگرهای قاب پنج طبقه در طرح اولیه و طرح نهایی بهینه از میانگین سه زلزله برای شکلپذیری هدف مختلف



شکل ۱۰– نیاز شکل پذیری طبقات و بار لغزش میراگرهای قاب ۱۰ طبقه در طرح اولیه و طرح نهایی بهینه از میانگین سه زلزله برای شکل پذیری هدف مختلف

۵-۳- تأثیر تحریک ورودی

نحوه تغییرات بار لغزش میراگرها در قاب پنج طبقه تحت رکوردهای مختلف ورودی برای شکلپذیری هدف ۶ در شکل (۱۱) نشان داده شده است. ملاحظه میشود اگر چه مقادیر عددی حاصل با هم اختلاف دارند، ولی روند تغییرات بار لغزش در ارتفاع سازه تحت ورودیهای مختلف مشابهت زیادی با هم دارد. در سایر قابها و برای سایر شکلپذیریهای هدف نیز نتایج کمابیش به همین صورت است؛ یعنی بار لغزش حاصل برای میراگرهای طبقات مختلف در فرایند پیشنهادی این مقاله در حالت کلی به خصوصیات رکورد زلزله ورودی بستگی دارد؛ ولی نتایج تحلیلهای انجام یافته حاکی از روند مشابه توزیعهای حاصل در زلزلههای مختلف است.



شکل ۱۱- توزیع بار لغزش میراگرهای قاب پنج طبقه در طرح اولیه و طرح نهایی بهینه تحت رکوردهای مختلف زلزله برای شکلپذیری هدف ۶

۵-۴- تأثیر الگوریتم پیشنهادی بر رفتار چرخهای میراگرها

پس از اعمال الگوریتم پیشنهادی برای یکنواخت شدن نیاز شکل پذیری طبقات، رفتار چرخهای میراگرها در قیاس با حالت اولیه تغییر میکند. به عنوان نمونه در شکل های (۱۲) تا (۱۴) رفتار چرخهای میراگرها در طبقات اول و آخر قابهای خمشی سه و پنج طبقه و در طبقات پنجم و آخر قاب خمشی ۱۰ طبقه، تحت اثر زلزله کیپمندوسینو در دو حالت طراحی اولیه با بار لغزش ثابت در طبقات و طراحی نهایی با الگوریتم پیشنهادی برای شکل پذیری هدف ۶ آورده شده است.

با توجه به شکلهای اخیر، در هر سه قاب در حالت طرح اولیه، میراگر طبقه آخر به اندازهٔ بسیار اندک وارد حوزه غیر خطی شده است و در نتیجه میزان استهلاک انرژی توسط آن ناچیز است؛ در حالی که جابجایی غیر ارتجاعی میراگر طبقه اول

قاب سه و پنج طبقه و طبقه پنجم قاب ۱۰ طبقه بسیار بزرگ است که میتواند باعث آسیب به خود میراگر شود. اما وقتی به رفتار چرخهای پس از اعمال الگوریتم پیشنهادی توجه شود، ملاحظه میگردد که در حالت بهینه، میراگر طبقه آخر با تولید چرخههای بزرگتر، نقش بسیار مؤثرتری در استهلاک انرژی زلزله ایفا میکند. میراگر طبقه اول قاب سه و پنج طبقه و طبقه پنجم قاب ۱۰ طبقه نیز ضمن کاهش جابجایی غیر ارتجاعی، همچنان در استهلاک انرژی مشارکت دارند. نتایج حاصل از زلزلههای دیگر نیز چنین روندی دارند.



شکل ۱۲- رفتار چرخهای میراگرهای طبقه اول و آخر قاب خمشی سه طبقه در طرح اولیه و طرح نهایی بهینه تحت زلزله کیپمندوسینو برای شکل پذیری هدف ۶



شکل ۱۳- رفتار چرخهای میراگرهای طبقه اول و آخر قاب خمشی پنج طبقه در طرح اولیه طرح و نهایی بهینه تحت زلزله کیپمندوسینو برای شکلپذیری هدف ۶



شکل ۱۴- رفتار چرخهای میراگرهای طبقه پنجم و آخر قاب خمشی ۱۰ طبقه در طرح اولیه و طرح نهایی بهینه تحت زلزله کیپمندوسینو برای شکلپذیری هدف ۶



شکل ۱۵- شاخص خرابی قابهای خمشی سه، پنچ و ۱۰ طبقه در دو حالت طرح اولیه و طرح نهایی بهینه تحت زلزلههای مختلف برای شکل پذیری هدف ۶

۵-۵- تأثیر الگوریتم پیشنهادی بر شاخص خرابی سازهها یکی از روشهای ارزیابی رفتار لرزهای سازهها، محاسبه یکی از روشهای ارزیابی رفتار لرزهای سازهها، محاسبه شاخص خرابی است. در این پژوهش، تغییر شکلهای نسبی ارشی طبقات به عنوان کمیت مؤثر در خرابی انتخاب شده و شاخص خرابی مطابق رابطه پیشنهادی العمام و Powell مناخص خرابی منظور، ابتدا شاخص خرابی تک تک طبقات (*DI*) مطابق رابطه (۹) محاسبه شده و نهایتاً شاخص خرابی کل سازه (*DI*) از رابطه (۱۰) به شده و نهایتاً شاخص خرابی کل سازه (یا این روابط بین صفر تا شده و نهایتاً شاخص خرابی کل سازه (*DI*) از رابطه (۱۰) به یک خواهد بود.

$$DI_{s} = \left(\frac{D_{shm} - D_{shy}}{D_{shu} - D_{shy}}\right)^{m} \tag{9}$$

$$DI_{g} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (DI_{s})_{i}^{2}}{\sum_{i=1}^{n} (DI_{s})_{i}}$$
(\.)

در رابطه (۹)، D_{shm} جابجایی نسبی برشی میان طبقهای حداکثر بوده که از تحلیل تاریخچه زمانی به دست میآید. D_{shy} عداکثر بوده که از تحلیل تاریخچه زمانی به دست میآید. D_{shu} و (\mathfrak{R}) و \mathfrak{h} جابجایی نسبی برشی تسلیم طبقه مطابق رابطه (\mathfrak{R}) و n محاز جابجایی نسبی برشی نهایی مجاز طبقه است که برای آن مقدار مجاز آیین نامهای (۲۰۲۵ یا ۲۰/۲ برابر ارتفاع طبقه با توجه به زمان تناوب اصلی سازه مطابق استاندارد ۲۸۰۰) در نظر گرفته شده است. برای توان m نیز عدد ۲ در نظر گرفته شده است.

در شکل (۱۵) شاخص خرابی قابهای خمشی سه، پنج و ۱۰ طبقه در دو حالت طرح اولیه با بار لغزش ثابت در طبقات و طرح نهایی بهینه با اعمال الگوریتم پیشنهادی، برای شکل پذیری هدف ۶ تحت اثر سه زلزله مختلف انتخابی آورده شده است. همان طور که در این اشکال مشاهده می شود، کاهش قابل ملاحظهای در شاخص خرابی سازهها پس از اعمال الگوریتم پیشنهادی ایجاد شده است.

۶- نتیجهگیری

در این پژوهش نشان داده شد که به هنگام زلزلههای قوی در سازههای قاب خمشی فولادی مجهز به میراگرهای اصطکاکی که به روشهای مرسوم طراحی شدهاند، شکلپذیری نیاز طبقات لزوماً به طور یکنواخت توزیع نمی شود. در نتیجه تمرکز انرژی و

تقاضای شکلپذیری در طبقات خاص و به تبع آن توزیع نامناسب مقاومت، احتمال خرابی را در سازه به هنگام زلزلههای شدید افزایش می دهد. بنابر این یک الگوریتم بهینه سازی پیشنهاد شد تا بتوان با تغییر مشخصه بار لغزش میراگرهای طبقات مختلف قابهای خمشی مجهز به میراگرهای اصطکاکی، نیاز شکل پذیری در طبقات را یکنواخت و برابر با مقدار هدف انتخابی نمود. برای این منظور، پس از انجام تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی، به طور تدریجی و گام به گام از بار لغزش طبقاتی که تقاضای شکل پذیری آنها کم تر از مقدار هدف است، کاسته و به بار لغزش طبقاتی که تقاضای شکل پذیری آنها بیشتر از مقدار هدف است، افزوده می شود. پس از چندین گام، توزیع تقریباً یکنواخت شکل پذیری طبقات حاصل می شود.

نتایج عددی تحلیل قابهای خمشی ۳، ۵ و ۱۰ طبقه مجهز به میراگر تحت سه رکورد مختلف زلزله نشان داد که در قابهای خمشی سه و پنج طبقه، بار لغزش بهینه میراگرهای طبقات فوقانی کمتر از طبقات تحتانی است؛ اما در قاب خمشی ۱۰ طبقه، بار لغزش بهینه میراگرهای طبقات تحتانی و فوقانی کمتر از طبقات میانی است. در حالت کلی، این توزیع به خصوصیات سازه و رکورد ورودی بستگی خواهد داشت. همچنین با افزایش شکل پذیری هدف انتخابی، بار لغزش بهینه میراگرها در طبقات کاهش می ابد، بدون این که الگوی توزیع ارتفاعی آن تغییر چندانی نماید.

بعد از اعمال الگوریتم پیشنهادی و توزیع یکنواخت تقاضای شکلپذیری در طبقات، رفتار چرخهای میراگرها بهبود یافته و میراگرهای تمامی طبقات مشارکت مؤثری در استهلاک انرژی ورودی زلزله از خود نشان میدهند. همچنین کاهش قابل ملاحظهای در شاخص خرابی قابهای ساختمانی پس از اعمال روش پیشنهادی ایجاد میشود.

الگوریتم ارائه شده در این تحقیق برای انتخاب بهینه بار لغزش میراگرهای اصطکاکی ساختمان قاب خمشی، این قابلیت را دارد که میتوان شکلپذیری هدف سازه را نیز به دلخواه انتخاب و تنظیم نمود. همچنین سرعت همگرایی آن بالا بوده و با چند گام محدود به نتیجه مطلوب میرسد. در نتیجه برای سازههایی با عملکردهای متفاوت، روش نسبتاً ساده و در عین حال مؤثری میباشد. Structure Based on Storey Shear Force Distribution", Engineering Structures, 2008, 30 (4), 930-940.

- [11] Apostolakis, G., Dargush, G. F., "Optimal Seismic Design of Moment-Resisting Steel Frames with Hysteretic Passive Devices", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2010, 39 (4), 355-376.
- [12] Karami Mohammadi, R., El Naggar, M. H., Moghaddam, H., "Optimum Strength Distribution for Seismic Resistant Shear Buildings", International Journal of Solids and Structures, 2004, 41 (22-23), 6597-6612.
- [13] Moghaddam, H., Hajirasouliha, I., "A New Approach for Optimum Design of Structures under Dynamic Excitation", Asian Journal of Civil Engineering, 2004, 5 (1-2), 69-84.
- [14] Park, K., Medina, R. A., "Conceptual Seismic Design of Regular Frames Based on the Concept of Uniform Damage", Journal of Structural Engineering, ASCE, 2007, 133 (7), 945-955.
- [15] Computers and Structures, Inc., SAP2000, Version 14, Structural Analysis and Design Software, Berkeley, CA, 2010.
- [16] Iranian National Building Code, Part 6: Design Loads for Buildings, Ministry of Housing and Urban Development, Tehran, Iran, 2006.
- [17] "Iranian National Building Code, Part 10: Design and Construction of Steel Structures", (Ministry of Housing and Urban Development), Tehran, Iran, 2008.

[۱۸] باقری، س.، طبیعتنژاد، د.، "توزیع بهینه سختی

میراگرهای فلزی جاری شونده در ارتفاع ساختمانهای

قاب خمشی فولادی"، اساس- فصلنامه علمی و پژوهشی

انجمن مهندسی عمران، ۱۳۹۱، ۱۴ (۳۳)، ۵۸-۶۵.

[19] Powell, G. H., Allahabadi, R., "Seismic Damage Prediction by Deterministic Methods: Concepts and Procedures", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1988, 16 (5), 719-734. ۷- مراجع

- [1] Soong, T. T., Dargush, G. F., "Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering", John Wiley & Sons, London, 1997.
- [2] Pall, A. S, Marsh, C., "Response of Friction Damped Braced Frames", Journal of the Structural Division, ASCE, 1982, 108 (ST6), 1313-1323.
- [3] Filiatrault, A., Cherry, S., "Performance Evaluation of Friction Damped Braced Steel Frames under Simulated Earthquake Loads", Earthquake Spectra, 1987, 3 (1), 57-78.
- [4] Aiken, I. D., Kelly, J. M., Pall, A. S., "Seismic Response of a Nine-Story Steel Frame with Friction Damped Cross-Bracing", Report No. UCB/EERC-88/17, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley (CA), 1988.
- [5] Filiatrault, A., Cherry, S., "Efficient Numerical Modelling for the Design of Friction Damped Braced Steel Plane Frames", Canadian Journal of Civil Engineering, 1989, 16 (3), 211-218.
- [6] Filiatrault, A., Cherry, S., "Seismic Design Spectra for Friction-Damped Structures", Journal of Structural Engineering, ASCE, 1990, 116 (5), 1334-1355.
- [7] Fu, Y., Cherry, S., "Design of Friction Damped Structures using Lateral Force Procedure", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2000, 29 (7), 989-1010.
- [8] Lopez Garcia, D., Soong, T. T., "Efficiency of a Simple Approach to Damper Allocation in MDOF Structures", Journal of Structural Control, 2002, 9 (1), 19-30.
- [9] Moreschi, L. M., Singh, M.P., "Design of Yielding Metallic and Friction Dampers for Optimal Seismic Performance", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2003, 32 (8), 1291-311.
- [10] Lee, S. H., Park, J. H., Lee, S. K., Min, K. W., "Allocation and Slip Load of Friction Dampers for a Seismically Excited Building

EXTENDED ABSTRACT

Determination of Slip Load of Friction Dampers Based on Target Ductility in Different Stories of Building Frames

Saman Bagheri*, Ali Hadidi, Nasrin Bastami

Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz 5166616471, Iran

Received: 27 July 2014; Accepted: 13 March 2015

Keywords:

Friction damper, Slip load, Ductility, Earthquake, Nonlinear analysis

1. Introduction

Friction dampers are one of the most widely used types of energy absorbing devices to control vibrations and to reduce the structural responses subjected to dynamic loads. The most important parameter of the design of these devices is slip load of the damper. The proper selection of this parameter has an important effect on the seismic behavior of the structures equipped with friction dampers. Several different methods have been proposed in the literature to determine the slip load [1-3]. Among them, the best known is based upon the development of design slip-load spectra [1, 4]. In this paper, a new method for the selection of the slip load of the dampers in different stories of the moment resisting building frames is proposed so that a uniform height-wise distribution of ductility demand is achieved. Results of the proposed method are compared with the usual design method using design slip-load spectra.

2. Methodology

2.1. Modeling and assumptions

In this study, three frame models including 3, 5, and 10-story steel moment resisting building frames equipped with friction dampers on top of chevron braces were considered for nonlinear dynamic analyses. The height of stories and the length of bays were assumed as 3 m and 5 m, respectively. After structural design of models, the total slip load in all friction dampers of the structure is estimated according to the design slip-load spectra method. In this procedure, the obtained slip load is then distributed uniformly to all stories. These uniform slip loads will be changed in the proposed optimization procedure.

In the modeling of the frames, it was assumed that all structural elements including frame elements and bracings remained elastic and behaved linearly except damper devices. The nonlinear behavior of the damper devices was modeled with a bi-linear elasto-plastic shear spring. Nonlinear time-history analyses were applied to models under three different earthquake ground motions. The computer program SAP2000 [5] was used for this purpose.

2.2. Proposed optimization procedure

In the proposed approach, the structure designed with an initial slip load is excited by the given earthquake ground motion and the ductility demand for each story is calculated and compared with the specified target value. Subsequently, the slip load of friction dampers is scaled (by either increasing or decreasing) until the ductility demand of all stories reaches the target value. The coefficient of variation (CoV) of ductility demand distribution along the building height is computed and the procedure continues until CoV becomes small enough, and a state of rather uniform height-wise distribution of ductility demand prevails.

* Corresponding Author

E-mail addresses: s_bagheri@tabrizu.ac.ir (Saman Bagheri), a_hadidi@tabrizu.ac.ir (Ali Hadidi), n_bastami@yahoo.com (Nasrin Bastami).

3. Results and conclusions

In all models, the coefficient of variation (CoV) of ductility demand distribution along the building height in the initial design according to the design slip-load spectra method is large, indicating that the distribution of story ductility demands are not uniform; however after the optimization procedure the CoV becomes small enough and a state of rather uniform height-wise distribution of ductility demand prevails. Height-wise distribution of ductility demand and slip load for 3, 5 and 10-story frames under Cape Mendocino earthquake with target ductility of 6 are shown in Fig. 1. To study the effect of the target ductility on the optimum distribution of the slip load, the proposed method was applied to all models with different values of target ductility. Fig. 2 shows the average results obtained from three selected earthquake ground motions for different target ductility demands of 4, 6 and 8. As seen in this figure, the slip load of dampers decreases with increasing target ductility.

In addition, using the proposed method for 3, 5 and 10-story moment resisting building frames equipped with friction dampers, it was demonstrated that damper's hysteretic behavior is improved and all the dampers participate in the earthquake input energy dissipation. Furthermore, a great decrease in damage index occurred after using the proposed procedure to prevail a state of rather uniform height-wise distribution of ductility demand in the structure.



Fig. 1. Height-wise distribution of slip load and ductility demand for 3, 5 and 10-story frames under Cape Mendocino earthquake with target ductility of 6

Fig. 2. Height-wise distribution of slip load and ductility demand for 3, 5 and 10-story frames with different target ductility demands (average results from three selected earthquakes)

10

15

10

20

15

4. References

- Filiatrault, A., Cherry, S., "Seismic Design Spectra for Friction-Damped Structures", Journal of Structural Engineering, ASCE, 1990, 116 (5), 1334-1355.
- [2] Moreschi, L. M., Singh, M. P., "Design of Yielding Metallic and Friction Dampers for Optimal Seismic Performance", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2003, 32 (8), 1291-311.
- [3] Lee, S. H., Park, J. H., Lee, S. K., Min, K. W., "Allocation and Slip Load of Friction Dampers for a Seismically Excited Building Structure Based on Storey Shear Force Distribution", Engineering Structures, 2008, 30 (4), 930-940.
- [4] Soong, T. T., Dargush, G. F., "Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering", John Wiley & Sons, London, 1997.
- [5] Computers and Structures, Inc., SAP2000, Version 14, Structural Analysis and Design Software, Berkeley, CA, 2010.