

بررسی تاثیر میراگرهای تسلیم شونده U-شکل و جداگرهای لاستیکی هسته سربی بر منحنی شکنندگی قاب‌های خمشی بتنی در حوزه نزدیک گسل

محمد رضا نیسی دغلاوی

کارشناس ارشد عمران گرایش سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه شهید چمران اهواز
Mohammaddaghilavi@gmail.com

ایمان ولی پور

دانشجوی کارشناسی ارشد عمران گرایش مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر
Imanvalipoor@yahoo.com

وحید حاتمی دزدارانی

دانشجوی کارشناسی ارشد عمران گرایش سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر
Vahid.hatami2019@yahoo.com

چکیده

منحنی‌های شکنندگی (آسیب‌پذیری)، ابزار مفیدی برای برآورد خطر آفرینی زیر ساخت‌های شهری می‌باشند. این منحنی‌ها احتمال خرابی را برای سطوح مختلف شدت زلزله نشان می‌دهند. به کمک این منحنی‌ها می‌توان با تعیین میزان آسیب‌پذیری سازه‌ها، آنها را برای مقاوم سازی اولویت‌بندی کرد. در این پژوهش مدل‌های چهار، هشت و دوازده طبقه قاب خمشی بتن‌آرمه، در نظر گرفته شده و میراگرهای تسلیم شونده U-شکل و جداگرهای لاستیکی هسته سربی به آنها افزوده شد. این مدل‌های سازه‌ای تحت تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی افزایشی با استفاده از رکوردهای شتاب حوزه نزدیک به گسل با شدت‌ها و محتوای فرکانسی مختلف در نرم‌افزار Sap2000 قرار گرفته و در نهایت منحنی‌های شکنندگی قاب‌ها ترسیم شده‌اند. نتایج بدست آمده نشان داد که تکنیک استفاده همزمان از میراگر تسلیم شونده U-شکل و جداگر لاستیکی هسته سربی به عنوان روشی مناسب جهت مقاوم‌سازی سازه‌ها در برابر زلزله می‌باشد؛ به‌گونه‌ای که در اکثر مدل‌های بررسی شده در این پژوهش، سطوح آسیب مجاز توصیه شده مطابق آیین‌نامه‌های ارزیابی لرزه‌ای نسبت به حالت بدون میراگر و جداگر به سطوحی تبدیل شده است که می‌توان گفت تحت رکوردهای حوزه نزدیک عملکرد مطلوبی را داشته است و آسیب‌چندانی را تجربه ننموده‌اند. با وجود اینکه بهبود عملکرد لرزه‌ای در همه سازه‌های این پژوهش مشهود بوده است اما این بهبود با افزایش ارتفاع سازه‌ها از ۴ به ۱۲ طبقه کاسته می‌شود، به عنوان نمونه در سازه ۱۲ طبقه متناظر شدت $PGA=1g$ تحت رکوردهای حوزه نزدیک گسل ۳۵ درصد احتمال آسیب جدی مشاهده می‌شود حال آنکه مقدار نظیر آن در سازه ۴ طبقه کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد. ضمن اینکه در عملکرد سازه‌های مجهز به سیستم میراگر و جداگر تحت رکوردهای حوزه نزدیک گسل معمولاً ۳ سطح آسیب ناچیز، متوسط و جدی مشاهده شده است و سازه وارد سطح عملکرد آسیب جدی نشده است.

واژگان کلیدی: آسیب‌پذیری، تحلیل دینامیکی افزایشی، میراگر تسلیم شونده U-شکل، جداگر لاستیکی هسته سربی، زلزله حوزه نزدیک گسل

۱- مقدمه

سیستم‌های کنترل غیرفعال، به لحاظ مزایای عمده‌ای از قبیل عدم نیاز به منبع نیروی خارجی، سهولت نصب و نگهداری و همچنین ساده بودن ساز و کار در آنها، نسبت به سایر روش‌های کنترلی بیشتر مورد توجه بوده و هستند. سیستم‌های میراگر جاری شونده U-شکل و جداگرهای لرزه‌ای از جمله سیستم‌های کنترلی غیرفعال است که جهت ارتقاء عملکرد لرزه‌ای، نه تنها در طراحی سازه‌های جدید، که برای بهسازی سازه‌های قدیمی و معیوب نیز قابل استفاده می‌باشد. در سازه‌های ساختمانی متداول، طراحی مقاوم در برابر زلزله بر شکل‌پذیری بعد از تسلیم اعضای سازه‌ای جهت فراهم آوردن اتلاف انرژی ورودی زلزله استوار است؛ در حالیکه با استفاده از وسایل مستهلک کننده انرژی می‌توان اتلاف انرژی ورودی را در نقاط از پیش تعیین شده متمرکز نموده، از رفتار غیرخطی اعضای اصلی که در مسیر باربری ثقیلی نیز قرار دارند، جلوگیری نمود. بنابراین احتمال بروز خرابی در اعضای اصلی به حداقل می‌رسد و این میراگرها هستند که انرژی ورودی را مستهلک کرده و در صورت خرابی احتمالی به سادگی قابل تعویض می‌باشند. از جمله موثرترین مستهلک کننده‌های انرژی، میراگرهای فلزی جاری شونده هستند. این نوع میراگرها از اوایل دهه ۱۹۷۰ به منظور جذب انرژی ورودی به سازه‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند. اصول کار آنها معمولاً بر مبنای تسلیم شکل‌پذیر فولاد نرمه می‌باشد. با توجه به محدودیت داده‌های عددی موجود در رابطه با سطح خرابی، مشخصات و ویژگی‌های زمین لرزه، رابطه‌ی بین اندازه زمین لرزه و میزان خرابی از ابزارهای ضروری برای ارزیابی و تخمین خرابی ساختمان‌ها در مقیاس شهری و منطقه‌ای است. سیستم جداسازهای لرزه‌ای نیز نسل جدیدی از سیستم‌های مقاوم در برابر زلزله می‌باشند که تجارب بدست آمده از زلزله‌ها نشان داده است، عملکرد بسیار مناسبی در کاهش و حتی حذف خسارات جدی به سازه از خود نشان داده‌اند (Kelly et al, 1972).

سامانه جداساز بر پایه افزایش تغییرمکان سازه و در نتیجه افزایش زمان تناوب سازه پایه‌گذاری شده است. در این سیستم با ایجاد تغییرمکان‌هایی در حد چند ده سانتیمتر، موجب کاهش شتاب وارد به سازه تا بیش از نصف شتاب زمین می‌شود؛ شتاب، پارامتری است که می‌توان به عنوان اولین و مهمترین پارامتر موثر در خسارات وارده به سازه از آن یاد نمود. مفهوم جداسازی لرزه‌ای، به معنی جداکردن کل یا بخشی از سازه از زمین یا قسمت‌های دیگر سازه به منظور کاهش پاسخ لرزه‌ای آن بخش در زمان وقوع زلزله می‌باشد. این عملکرد با استفاده از جداسازهایی که بر اساس مشخصات دینامیکی سازه، اهداف عملکردی مورد نظر طراح و شرایط خطر لرزه‌خیزی ساختگاه، طراحی و ساخته شده‌اند، صورت می‌گیرد. وظیفه‌ی اصلی این جداسازها، ایجاد فاصله بین دوره تناوب طبیعی سازه و محدوده‌ی دوره تناوب حاکم در ارتعاش زمین لرزه احتمالی در محل سازه‌ی مورد نظر است. علاوه بر این، انرژی ارتعاشی ناشی از زلزله نیز با کمک سازوکارهای مختلفی کاهش یافته و از انتقال آن به سازه جلوگیری می‌گردد.

منحنی‌های شکنندگی یکی از ابزارهای مفید برای این منظورند. این منحنی‌ها نشان‌گر احتمال افزایش شرایط محدود آسیب و خسارت برای ساختارهای در معرض تحریک زمین‌لرزه هستند. حالت‌های خسارت در آسیب‌پذیری‌ها معمولاً به عنوان تغییرمکان بیشینه‌ی بین طبقه‌ای و تغییرشکل محوری خمیری و چرخش مفاصل و ... در نظر گرفته می‌شود (Anagnos et al, 1995- Murao and Yamazaki, 2000).

منحنی‌های شکنندگی برای برآورد خطر آفرینی زیرساخت‌های شهری نیز قابل استفاده‌اند. این منحنی‌ها سطح متحمل خسارت برای سطوح مختلف شدت تاثیر زلزله را نشان می‌دهند. به کمک این منحنی‌ها می‌توان با تعیین میزان آسیب‌پذیری سازه‌ها، آنها را برای مقاوم‌سازی اولویت بندی کرد. همچنین موسسات مدیریت دولتی و ادارات بیمه که عهده‌دار برآورد میزان خسارت بعد از زلزله هستند، می‌توانند از این منحنی‌ها بهره بگیرند (Akkar et al, 2005 – Anagnos et al, 1995).

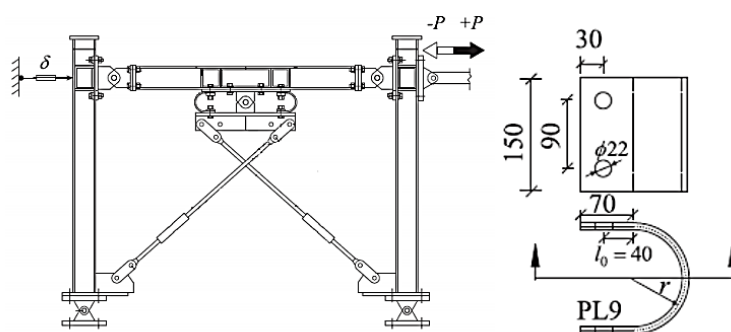
دو عامل مهم در ایجاد منحنی‌های شکنندگی نقش دارند: ۱- خسارت وارده بر سازه، که توسط یک تابع احتمال بیان می‌شود؛ ۲- چگونگی جنبش زمین، که می‌توان منحنی شکنندگی را بر اساس یکی از شاخص‌های جنبش زمین مانند بیشینه شتاب زمین (PGA)، بیشینه سرعت زمین (PGV)، یا بیشینه جابجایی زمین (PGD) رسم کرد.

از دیگر موضوعاتی که اخیراً در مهندسی سازه و زلزله مورد توجه ویژه‌ای واقع شده است، اثر زلزله‌های حوزه نزدیک گسل بر سازه‌های مهندسی است. خصوصیات زمین لرزه‌های نزدیک گسل به‌طور کلی با زمین لرزه‌های معمولی که در ناحیه دور از گسل رخ می‌دهند، متفاوت می‌باشند. مطالعه ویژگی‌های زلزله‌های اخیر نشان می‌دهد که اثرات زمین لرزه‌های نزدیک گسل بر روی سازه‌های موجود در ناحیه نزدیک گسل بسیار مخرب است که در مطالعات اخیر این ناحیه، فاصله تا ۶۰ کیلومتری از شکست گسل تخمین زده شده است. برجسته‌ترین خصوصیات زمین لرزه‌های حوزه نزدیک، اثر فرادیواره، اثر جهت پذیری پیشرونده، اثر جابجایی ماندگار (اثر پرتابی) و اثر مؤلفه قائم زلزله است. از بین این چهار ویژگی، اثر جهت پذیری پیشرونده بیشترین توجه قابل توجه بوده و اکثر مطالعات انجام شده در مورد حوزه نزدیک گسل در مورد اثر این مشخصه بر سازه‌های مختلف است. این اثر زمانی اتفاق می‌افتد که شکست گسل با سرعتی نزدیک به سرعت موج برشی از کانون زلزله به‌طرف ساخت گاه حرکت کند که به‌صورت پالسی بزرگ در ابتدای رکورد قابل مشاهده است. ویژگی مهم دیگری نیز که در نزدیکی گسل از اهمیت قابل توجهی برخوردار است اثر مؤلفه قائم است. نسبت شتاب‌های قائم به افقی در ناحیه نزدیک گسل در بسیاری از موارد از مقدار معمول ۲/۳ در آیین‌نامه‌های طراحی فراتر می‌رود که اهمیت این اثر را نمایان می‌کند (دائی و پورشا، ۱۳۹۵).

در این پژوهش تاثیر عملکرد همزمان میراگرهای فلزی جاری شونده U-شکل و جداگرهای لاستیکی هسته سربی در منحنی شکنندگی قاب‌های خمشی بتنی در حوزه نزدیک گسل با استفاده از روش اجزای محدود مورد مطالعه قرار می‌گیرد. تولید این منحنی‌ها از طریق تحلیل دینامیکی غیرخطی قاب‌ها با اعمال شتابنگاشت‌هایی با شدت‌ها و محتواهای فرکانسی مختلف در حوزه نزدیک گسل، به کارگیری توابع آماری و احتمالاتی و بهره‌گیری از شاخص شکست تغییر مکان بین طبقه‌ای میسر خواهد شد.

۲- میراگرهای تسلیم شونده U-شکل

میراگر U-شکل، متشکل از صفحات خمیده فولادی به شکل U خوابیده است که تحت بارگذاری خمشی چرخه‌ای قرار می‌گیرد. استهلاک انرژی در این ابزار از طریق رفتار ناکششان و شکل‌پذیر فولاد در قسمت خم U صورت می‌پذیرد. میراگر مورد نظر در یک سیستم الکلنگی قرار گرفته، علاوه بر افزایش توانان سختی و میرایی سازه، از طریق کنترل نیروی محوری در اعضای مهار، از تسلیم و کمانش و تخریب زودهنگام این اعضا پیشگیری می‌کند. پیشنهاد سیستم اتلاف انرژی الکلنگی اولین بار توسط تاگاوا داده شد. اولین گزارش از این سیستم با میراگر ویسکوز ارائه شد. سپس میراگر U-شکل از طریق تست‌های بارگذاری چرخه‌ای استاتیکی بررسی شد. سیستم الکلنگ شامل سه بخش مهاربند، الکلنگ و میراگر U-شکل است. در این سیستم به این دلیل که عضو قابل چرخش مشابه الکلنگ حرکت می‌کند، آن را قادر به استفاده از میله‌های فولادی و یا کابل به عنوان مهار، می‌سازد. زیرا اعضای مهاربند با پیش‌تنیدگی در طول ارتعاش، تنش خود را حفظ می‌کنند. شکل هندسی میراگر و پارامترهای معرف مشخصات آن و نحوه قرارگیری در داخل قاب در شکل (۱) نشان داده شده است.



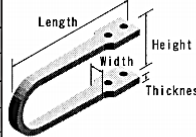
شکل (۱): نحوه قرار گرفتن میراگر U-شکل در قاب فولادی

مشخصات مورد نظر از نتایج یک مقاله آزمایشگاهی سوزوکی و ساکی برداشت شده است. در شکل (۲) مشخصات انواع میراگرهای U-شکل آورده شده است (Suzuki and Saeki, 2005).

Table 1 Size and properties of U-shaped damper

*: Displacement for 5 cycles to failure

Model	Size				Properties using four U-dampers				
	Length (mm)	Height (mm)	Thickness (mm)	Width (mm)	Yield shear force (kN)	Horizontal 1st stiffness (kN/m)	Horizontal 2nd stiffness (kN/m)	Horizontal elastic limit displacement (mm)	Horizontal limit displacement*
UD40	610	231	28	60	112	5920	100	19	550
UD45	785	297	36	77	184	7600	128	24	650
UD50	872	330	40	85	232	8320	144	28	750
UD55	981	371	45	96	304	9600	160	32	850
UD60	1199	453	55	118	432	11600	196	37	1000



شکل (۲): مشخصات میراگر U-شکل مطابق با نتایج آزمایشات سوزوکی و ساکی (۲۰۰۵)

در این تحقیق جهت مدلسازی میراگر تسلیم شونده U-شکل از نوع UD50 با سختی ۸۳۲۰ کیلونیوتن بر متر و نیروی تسلیم ۲۳۲ کیلونیوتن استفاده شده است.

۳- جداسازهای لاستیکی با هسته سربی (LRB)

برای بالا بردن میرایی موثر جداگرهای الاستومتری که از لاستیک با میرایی اندک ساخته شده‌اند، از یک یا چند هسته سربی در مرکز آن‌ها استفاده می‌شود. هسته سربی که با فشار و تزریق داخل سوراخ تکیه‌گاه قرار داده شده است تحت اثر برش‌های ناشی از زمین‌لرزه در تنش‌های پایین تقریباً ۸ ال ۱۰ مگاپاسکال در دمای معمولی جاری شده و تغییرشکل فیزیکی می‌دهد. در این حالت سرب به صورت یک ماده الاستیک-پلاستیک و یا مانند نورد گرم متبلور شده عمل می‌کند. به این ترتیب تحت سیکل‌های متوالی با تشکیل حلقه‌های هیستریزس رفتار دوخطی از خود نشان می‌دهد و میرایی را از ۳٪ در لاستیک با میرایی کم به بالاتر از ۱۰٪ می‌رساند. هسته سربی به همراه لاستیک سختی اولیه را برای بارهای سرویس به وجود آورده و انرژی ورودی زلزله را مستهلک می‌کند. در اکثر موارد سختی ثانویه یا پلاستیک از یک دهم الی یک ششم سختی اولیه یا الاستیک برخوردار است. علت انتخاب سرب این است که این ماده در سیکل‌های بارگذاری متمادی دچار پدیده خستگی نشده و از این رو دارای عملکردی پایدار در راستای استهلاک انرژی می‌باشد (Built, 1982).

ایده به کارگیری جداگانه میراگرهای هیستریزس فلزی در داخل سازه به منظور جذب انرژی لرزه‌ای، با کارهای آزمایشگاهی و مفهومی کلی و همکارانش (۱۹۷۲) و اسکینر و همکارانش (۱۹۷۵) شروع شد. آنها چند نوع ابزار فولادی ساده را به عنوان وسایل مستهلک کننده انرژی معرفی و مورد آزمایش قرار دادند. از جمله این ابزارها، ورق‌های باریک فولادی U شکل بود. نتایج آزمایش‌های رفت و برگشتی آنها نشان داد که ورق‌های فولادی U شکل می‌توانند جابجایی‌های بسیار زیادی را در حوضه غیرالاستیک تحمل نموده و از طریق تغییرشکل‌های پلاستیک فولاد نرمه باعث استهلاک انرژی شوند (Kelly, 1988). بعد از وقفه‌ای چند ساله در سال ۱۹۹۲ خواص جذب و استهلاک انرژی المان‌های فولادی U شکل توسط آگیره و سانچز (۱۹۹۲) بوسیله آزمایش‌های سیکلی مورد بررسی و تایید قرار گرفت (Aguirre and Sanchez, 1992).

مطالعات تکمیلی در مورد این میراگر برای کاربرد عملی آن مربوط به کارهای ارزشمند دولس و همکارانش (۱۹۹۶) می‌باشد که این میراگر را در حالت تک محوره و دو محوره با چیدمان دایره‌ای تحت آزمایش و تحلیل‌های عددی قرار دادند (Dolce et al, 1996).

تاریخچه دقیق ایده اولیه استفاده از تکنیک جداسازی به وضوح مشخص نیست. در برخی از متون آن را به حدود ۱۰۰ سال پیش، منصوب دانسته و در برخی دیگر آن را به خیلی قبل‌ترها، حتی چیزی در حدود چند هزار سال پیش (زمانی که معبد

آرتیمیس بر روی خاک مردابی به همراه لایه‌های کوبیده شده زغال چوب در زیر آن و پوشاندن آن با پشم، جهت حفاظت در مقابل زلزله ساخته شد) مرتبط می‌دانند، لیکن آنچه که مشخص است و همگی به آن اذعان دارند آن است که، تا چند دهه گذشته به دلایل مختلف، از جهت نبود فن‌آوری و تکنولوژی ساخت ادوات و ابزار جداساز، این شیوه با اقبال خوبی روبه‌رو نشده است، اما در سال‌های اخیر با فراهم آمدن امکانات مناسب، زمینه رشد و فراگیری این تکنیک ایجاد گردیده و روز به روز نیز در حال پیشرفت از طرف صاحبان صنعت و در مقابل پذیرش آن، از سوی مهندسان و مصرف کنندگان این سیستم‌ها می‌باشد(دودی، ۱۳۸۷).

۴- فرضیات مدل‌ها

در این بخش به معرفی مشخصات پروژه و اطلاعات لازم جهت مدلسازی و طراحی ساختمان مورد نظر پرداخته شده است. در جدول (۱) مشخصات کلی ساختمان آورده شده است.

جدول (۱): مشخصات کلی ساختمان

خطر نسبی زلزله	زیاد
کاربری ساختمان	مسکونی
تعداد طبقات	۴-۸-۱۲
ارتفاع طبقات	۳ متر
نوع خاک	D
سیستم باربر جانبی	قاب خمشی بتن‌آرمه متوسط

در جدول (۲) مشخصات مصالح بتنی مصرفی در این پژوهش آورده شده است.

جدول (۲): مشخصات مصالح مصرفی

وزن مخصوص بتن	2500 kg/m^3
مدول الاستیسیته	$2 \times 10^9 \text{ kg/cm}^2$
نسبت پواسون	0.2
مقاومت فشاری بتن مصرفی	250 kg/cm^2
تنش تسلیم میلگرد مصرفی	4000 kg/cm^2

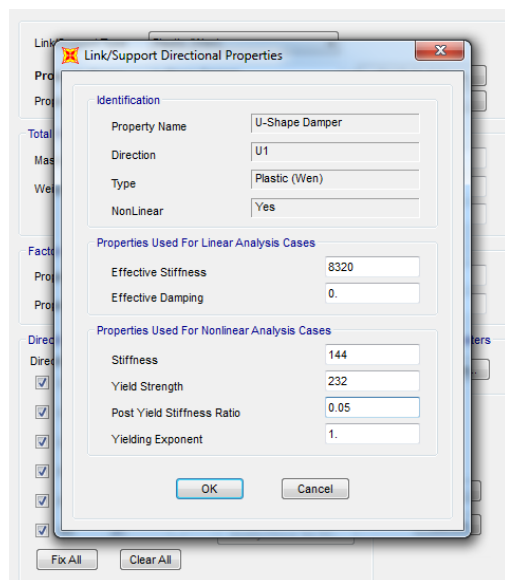
به‌طور کلی محاسبه بارهای وارد بر سازه، براساس آیین‌نامه بارگذاری آمریکا (ASCE) انجام شده است. در این پژوهش مقدار بار مرده و زنده وارد بر قاب‌ها به ترتیب برابر ۲۷۵۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر در نظر گرفته شده است. طبق بند ۲-۳-۵ آیین‌نامه ۲۸۰۰ حداقل باید از ۳ زوج شتاب نگاشت در تحلیل تاریخچه زمانی استفاده نمود و مدت زمان حرکت شدید زمین در شتابنگاشت‌ها باید حداقل برابر با ۱۰ ثانیه یا ۳ برابر زمان تناوب اصلی سازه، هرکدام که بیشتر است، باشد. بر همین اساس و با توجه به نوع خاک و موقعیت ساختمان، ۷ شتابنگاشت مربوط به حوزه نزدیک گسل مطابق جدول (۳) انتخاب شدند.

جدول (۳): اطلاعات شتابنگاشت‌های انتخاب شده جهت تحلیل تاریخیچه زمانی

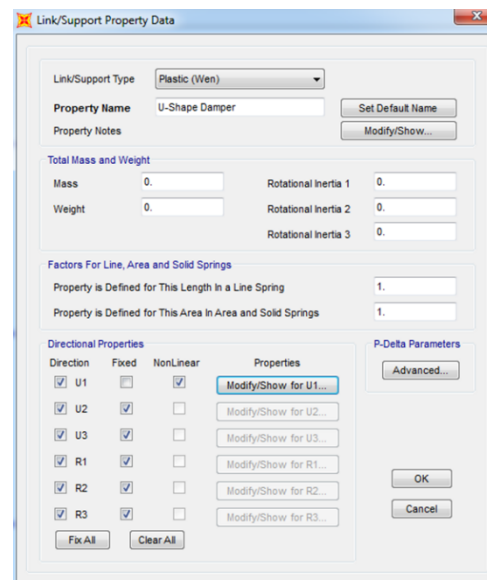
شماره رکورد	نام زلزله	سال	نام ایستگاه	PGA (g)	فاصله از گسل (کیلومتر)
1	Tabas, Iran	۱۹۷۸	Dayhook	۰/۳۲۳	۳/۴۵
2	Montenegro	۱۹۷۹	Bar-Skupstina	۰/۳۷۲	۱/۲۸
3	Cape Mendocino	۱۹۹۲	Petrolia	۰/۵۹۰	۶/۱۷
4	Loma Prieta	۱۹۸۹	LGPC	۰/۵۶۹	۹/۵
5	Kobe, Japan	۱۹۹۵	Nishi-Akashi	۰/۴۸۳	۷/۰۸
6	Northridge-01	۱۹۹۴	Jensen Filter Plant	۰/۴۱۰	۹/۸
7	Niigata, Japan	۲۰۰۴	NIGH11	۰/۵۹۹	۶/۲۷

۵- نحوه مدل‌سازی میراگر تسلیم شونده U-شکل و جداگر لاستیکی هسته سربی در نرم‌افزار سپ

جهت مدل‌سازی میراگر تسلیم شونده U-شکل ابتدا از مسیر Define/Section Properties گزینه Link Support Properties را انتخاب می‌کنیم. پس از آن گزینه Add New Property انتخاب می‌شود. پس از آن مطابق شکل (۳-الف) در قسمت Link/Support Type گزینه Plastic (Wen) انتخاب می‌شود. در قسمت Directional Properties کلیه جابجایی‌ها بسته شده و فقط در قسمت U1 تیک گزینه NonLinear زده می‌شود. پس از آن جهت وارد کردن مشخصات میراگر بر روی گزینه Modify/Show for U1 کلیک می‌کنیم که صفحه‌ای مطابق شکل (۳-ب) باز می‌شود. مطابق این شکل، در قسمت Effective Stiffness مقدار سختی اولیه میراگر، در قسمت Stiffness سختی ثانویه (پلاستیک) میراگر و در قسمت Yield Strength مقدار نیروی تسلیم میراگر را وارد می‌کنیم.



(ب)



(الف)

شکل (۳): نحوه مدل‌سازی میراگر تسلیم شونده U-شکل در نرم‌افزار سپ

جهت مدل‌سازی جداگر لاستیکی هسته سربی ابتدا از مسیر Define/Section Properties گزینه Link Support Properties را انتخاب می‌کنیم. پس از آن گزینه Add New Property انتخاب می‌شود. پس از آن مطابق شکل (۴-الف) در

قسمت Link/Support Type گزینه Rubber Isolator انتخاب می‌شود. در قسمت Directional Properties در دو جهت U2 و U3 که مربوط به دو حرکت انتقالی افقی جداگر است، تیک گزینه NonLinear زده می‌شود. جهت U1 مربوط به سختی قائم جداگر بوده که در این قسمت به صورت fix در نظر گرفته می‌شود. پس از آن جهت وارد کردن مشخصات جداگر، بر روی گزینه Modify/Show for U1 کلیک می‌کنیم که صفحه‌ای مطابق شکل (۴-ب) باز می‌شود. مطابق این شکل، در قسمت Effective Stiffness مقدار سختی موثر جداگر، در قسمت Effective Damping ضریب میرایی جداگر، در قسمت Stiffness سختی ثانویه (پلاستیک) جداگر و در قسمت Yield Strength مقدار نیروی تسلیم جداگر را وارد می‌کنیم.

(ب)

(الف)

شکل (۴): نحوه معرفی جداگر LRB در نرم‌افزار سپ

۶- نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی

با توجه به آنکه هدف نهایی این پژوهش توسعه منحنی‌های شکنندگی بوده است جهت نیل به این هدف به انجام آنالیزهای متعدد دینامیکی غیرخطی سازه‌های نمونه پرداخته شده است. جهت مقیاس سازی شتابنگاشت‌ها از الگوریتم مستقیم استفاده شده است. در مجموع ۱۲۰۴ تحلیل دینامیکی غیرخطی جهت به دست آوردن اطلاعات موردنیاز، انجام شده است.

در این پژوهش، معیار خرابی تغییر مکان نسبی بین طبقه‌ای^۱ و معیار شدت اندازه‌گیری^۲ شتاب ورودی به سازه در نظر گرفته شده است. مقادیر مجاز معیار خرابی، مطابق آیین‌نامه HAZUS که به صورت تخصصی به توسعه منحنی‌های شکنندگی پرداخته، استخراج شده است. در این آیین‌نامه مقادیر مجاز به ارتفاع و سطح خطرپذیری طراحی لرزه‌ای آیین‌نامه بستگی دارد و با توجه به این دو محدودیت مقادیری را به صورت کمی پیشنهاد کرده است. با توجه به آنکه سازه‌های نمونه این پژوهش در ۳ ارتفاع متفاوت بوده است در نتیجه دارای سطوح عملکرد متفاوتی جهت ارزیابی سازه است (جدول (۴)).

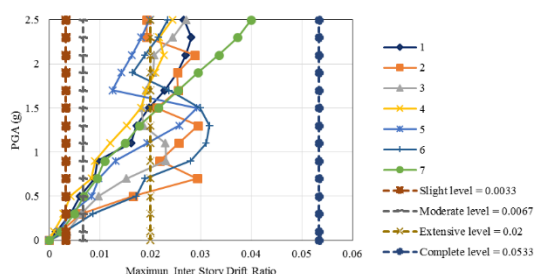
^۱ DM = Interstory drift

^۲ IM = PGA

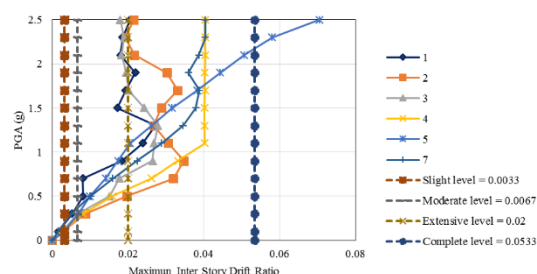
جدول (۴): سطوح عملکرد (آسیب) ارزیابی، مطابق آیین نامه HAZUS

سازه نمونه	سطح آسیب کم ^۶	سطح آسیب متوسط ^۵	سطح آسیب شدید ^۴	سطح آسیب کامل ^۳
۴ طبقه	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۶۷	۰/۰۲	۰/۰۵۳۳
۸ طبقه	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۵	۰/۰۱۵	۰/۰۴
۱۲ طبقه	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۵	۰/۰۱۵	۰/۰۴

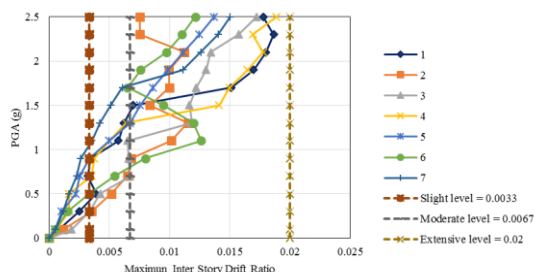
با بهره گیری از روش مقیاس سازی به روش الگوریتم مستقیم، رکوردهای ورودی جهت اعمال به سازه آماده شده و پس از انجام تحلیل های لازم، منحنی هایی موسوم به IDA استخراج می گردد. این منحنی ها معمولاً لازمه توسعه منحنی شکنندگی می باشد. منحنی های IDA مدل های مختلف در شکل های (۱) تا (۳) ارائه شده اند.



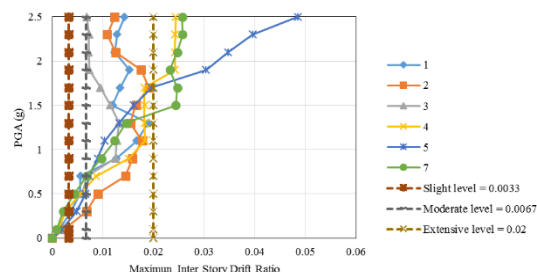
(ب): فقط با جداگر



(الف): بدون جداگر و میراگر



(د): با جداگر و میراگر



(ج): فقط با میراگر

شکل (۱): نمودار IDA مدل های ۴ طبقه

شکل (۱-الف) نمودار استخراج شده مربوط به سازه ۴ طبقه بدون جداگر و میراگر، پس از انجام تحلیل غیرخطی افزایشی است. با توجه به این نمودار مشخص است که پاسخ این سازه تحت اکثر رکوردهای ورودی از سطح عملکرد آسیب جدی (Extensive) گذشته است و حتی یکی از پاسخ های مورد بحث دچار خرابی کامل شده است.

با بررسی شکل (۱-ب) و در خصوص سازه ۴ طبقه با جداگر می توان دریافت که سازه با جداگر سطح عملکرد خرابی کامل (Complete) را تحت اثر رکوردهای مورد نظر، تجربه نخواهد نمود و عملکرد این سازه تحت تأثیر شتابنگاشت های حوزه نزدیک به گسل، ۴۳ درصد از پاسخ ها از سطح عملکردی آسیب جدی (Extensive) فراتر رفته اند.

³ Complete performance level

⁴ Extensive performance level

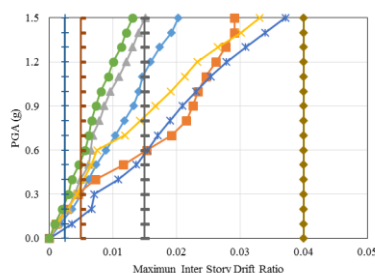
⁵ Moderate performance level

⁶ Slight performance level

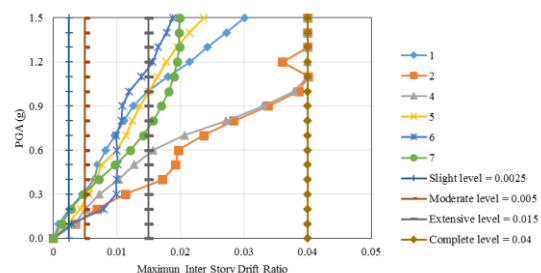
در شکل (۱-ج) نمودار IDA مربوط به سازه ۴ طبقه به همراه میراگر قابل مشاهده است. طبق این نمودار پاسخ سازه تحت ۳ مورد از شتابنگاشت‌ها از سطح آسیب جدی عبور کرده است. مقایسه این نمودار و نمودار شکل (۱-ب) نشان دهنده این است که سازه مورد نظر با میراگر، عملکرد مناسب‌تری نسبت به جداگر از خود نشان داده است.

در شکل (۱-د) نمودار IDA سازه ۴ طبقه با جداگر و میراگر آورده شده است. طبق این نمودار سازه ۴ طبقه به همراه جداگر و میراگر به سطح آسیب جدی نرسیده است که بیانگر عملکرد مناسب ترکیب میراگر و جداگر است.

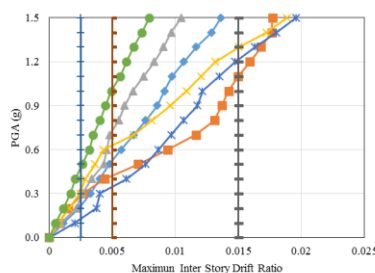
شکل (۲-الف) نمودار استخراج شده مربوط به سازه ۸ طبقه بدون جداگر و میراگر، پس از انجام تحلیل غیرخطی افزایشی است. با توجه به این نمودار مشخص است که مدل ۸ طبقه تحت شتابنگاشت‌های اعمالی از حالت آسیب جدی فراتر رفته ولی به سطح عملکرد Complete نیز نرسیده‌اند. مورد دیگری که با بررسی این شکل قابل مشاهده است مربوط به تغییر مکان نسبی بین طبقه‌ای است، در این خصوص سازه سازه تحت اثر همه رکوردها، سطح عملکرد آسیب جدی را تجربه و حتی ناشی از ۲۸ درصد آنها، میل به سطح عملکرد آسیب کامل داشته است.



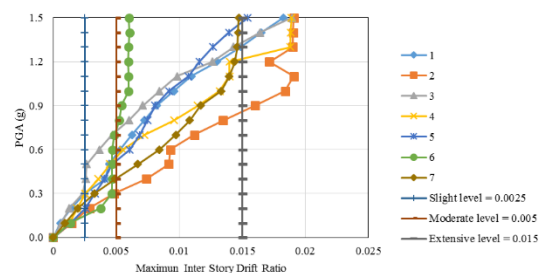
(ب): فقط با جداگر



(الف): بدون جداگر و میراگر



(د): با جداگر و میراگر



(ج): فقط با میراگر

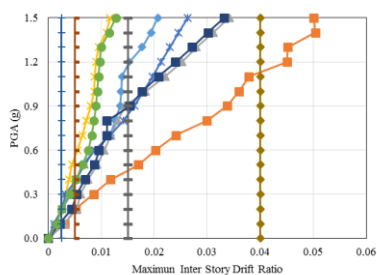
شکل (۲): نمودار IDA مدل‌های ۸ طبقه

با بررسی شکل (۲-ب) در خصوص سازه ۸ طبقه با جداگر، می‌توان دریافت که سازه با جداگر، سطح عملکرد خرابی کامل (Complete) را تحت اثر رکوردها تجربه نخواهد نمود و عملکرد این سازه تحت اثر نیمی از رکوردها از سطح عملکرد Extensive عبور نموده و متأثر از نیم دیگر از رکوردها در سطح عملکرد Moderate باقی‌مانده است. در خصوص سازه ۸ طبقه با جداگر مطابق شکل (۲-ب) قابل مشاهده است که سازه ناشی از اکثر رکوردها سطح عملکرد آسیب جدی را تجربه کرده‌اند و پراکندگی نیز در پاسخ‌ها زیاد است. با بررسی نگاشت‌های تغییر مکان نسبی بین طبقه‌ای حاصل از تحریکات افزایشی در حوزه نزدیک گسل در دو مدل سازه چهار و هشت طبقه می‌توان دریافت که اثر تحریکات حوزه نزدیک بر سازه چهار طبقه به صورت پراکندگی بیشتر و تنوع در سطوح عملکرد در مقایسه با سازه هشت طبقه مشهودتر است. به عبارت دیگر شاید بتوان استنباط نمود که سازه کوتاه مرتبه مجهز به سیستم جداگر در مقایسه با یک سازه میان مرتبه با همان شرایط و ویژگی‌ها تحت تحریکات

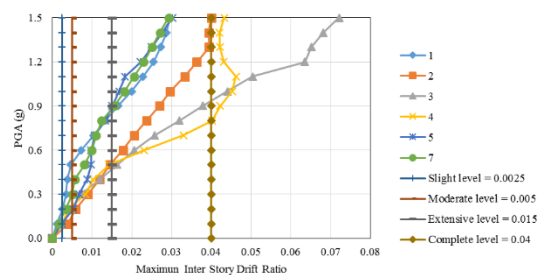
نزدیک به گسل دارای عدم قطعیت بیشتری در پاسخ‌های تغییرمکان نسبی بین طبقه‌ای است، همچنین سازه‌های کوتاه مرتبه نسبت به میان مرتبه، در حوزه‌های نزدیک به گسل آسیب بیشتری را تجربه نموده‌اند، این موضوع به نظر می‌رسد اولاً نیاز است جهت سایر پاسخ‌ها نیز بررسی شود و ثانیاً در طراحی لرزه‌ای چنین سازه‌هایی در این حالت توجه ویژه‌ای به آنها معطوف گردد. شکل (۲-ج) نمودار IDA مربوط به سازه ۸ طبقه با میراگر می‌باشد. طبق این نمودار پاسخ سازه تحت اغلب شتابنگاشت‌ها از سطح آسیب جدی عبور کرده است. مقایسه این نمودار و نمودار شکل (۲-ب) نشان دهنده این است که سازه مورد نظر با میراگر، عملکرد مناسب‌تری نسبت به جداگر از خود نشان داده است.

در شکل (۲-د) نمودار IDA سازه ۸ طبقه با جداگر و میراگر آورده شده است. طبق این نمودار سازه ۸ طبقه به همراه جداگر و میراگر فقط تحت ۳ مورد از شتابنگاشت‌ها به سطح آسیب جدی رسیده است که بیانگر عملکرد مناسب ترکیب میراگر و جداگر است.

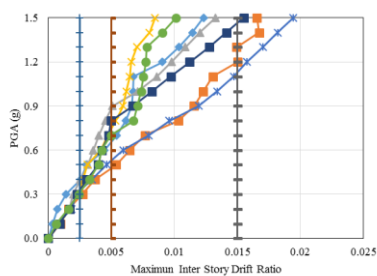
شکل (۳-الف) نمودار استخراج شده مربوط به سازه ۱۲ طبقه بدون جداگر و میراگر، پس از انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی است. با توجه به این نمودار مشخص است که سازه تحت رکوردهای حوزه نزدیک گسل برای کلیه رکوردها از عملکرد Extensive عبور کرده و در دو مورد از حالت خرابی کامل نیز عبور کرده است.



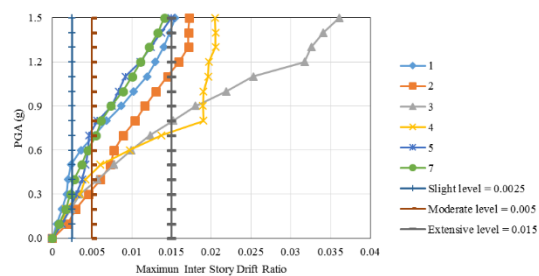
(ب): فقط با جداگر



(الف): بدون جداگر و میراگر



(د): با جداگر و میراگر



(ج): فقط با میراگر

شکل (۳): نمودار IDA مدل‌های ۱۲ طبقه

همانگونه که در نمودار شکل (۳) مشخص است پاسخ سازه با جداگر تحت اثر مجموعه رکوردهای ورودی مطلوب‌تر از حالت بدون جداگر و میراگر است بطوریکه بر خلاف سازه بدون جداگر و میراگر، در این حالت فقط تحت یکی از رکوردها به حالت خرابی کامل رسیده است.

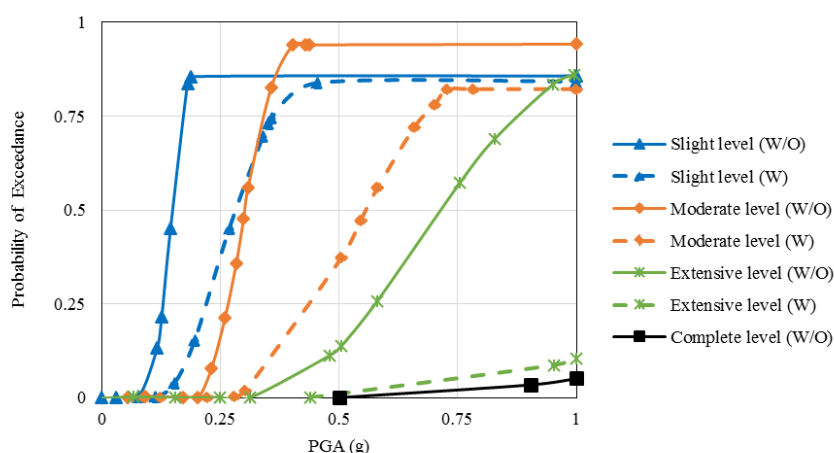
در این قسمت به انجام آنالیز دینامیکی غیرخطی سازه به صورت افزایشی پرداخته شد و منحنی‌های IDA پس از فرآیند تحلیل استخراج گردید. با توجه به منحنی‌های موجود که عملکرد سازه‌های با و بدون جداگر و میراگر را به تصویر کشیده است، می‌توان دریافت که سازه‌های با جداگر و میراگر نیز با سطوحی از آسیب مواجه شده است به گونه‌ای که پاسخ این سیستم‌ها تحت

رکوردهای حوزه نزدیک گسل با بهبود چشمگیری همراه نبوده است. پراکندگی پاسخ‌ها نیز موضوع دیگری بود که در نمودارهای حاصله مشاهده شد. در این زمینه پاسخ سازه‌ها تحت تحریکات حوزه نزدیک به گسل با پراکندگی همراه بوده است. همچنین از لحاظ مقایسه ارتفاع سازه‌ها، پراکندگی پاسخ‌ها در سازه‌های کوتاه مرتبه بیشتر محسوس بوده است و با افزایش ارتفاع از این پراکندگی به صورت قابل توجهی کاسته شده است و حتی می‌توان گفت در سازه‌های بلندمرتبه پاسخ‌های نسبتاً یکسانی تحت رکوردهای حوزه نزدیک گسل مشاهده شده است.

۷- نتایج تحلیل شکنندگی

با توجه به نمودارهای استخراج شده از تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی، در این مرحله با انجام آنالیز رگرسیون بر روی داده‌ها به توسعه منحنی‌های شکنندگی تحلیلی پرداخته شده است و با استفاده از دیدگاه احتمالاتی به قضاوت درباره سازه‌های نمونه این پژوهش در حالت‌های با و بدون جداگر و میراگر پرداخته شده است. در کلیه نمودارهای این بخش نمایش خطچین مربوط به حالت سازه با جداگر و میراگر و خطوط ممتد مربوط به سازه بدون جداگر و میراگر می‌باشد.

در این قسمت منحنی‌های شکنندگی جهت سازه چهار طبقه برای دو حالت با جداگر و میراگر و بدون جداگر و میراگر در شکل (۴) نشان داده شده است.

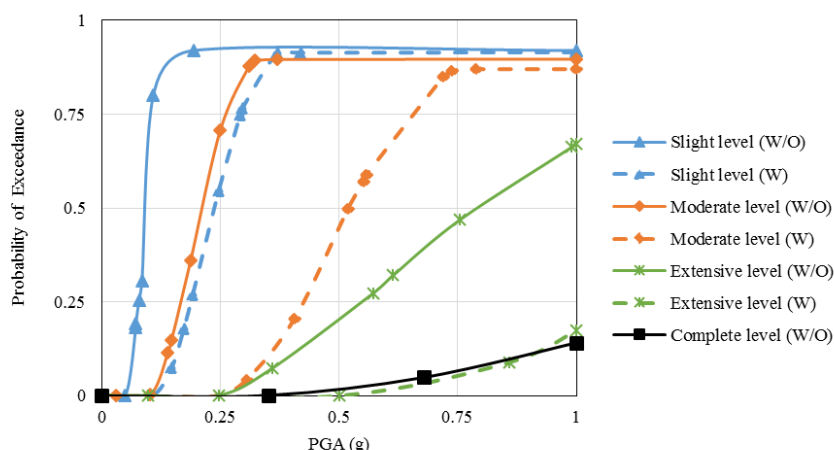


شکل (۴): منحنی شکنندگی تحلیلی لگ نرمال جهت سازه ۴ طبقه

منحنی‌های شکنندگی تحت رکوردهای حوزه نزدیک جهت سازه ۴ طبقه استخراج گردیده و در شکل (۴) نشان داده شده است. با بررسی اولیه این نمودار می‌توان دریافت تأثیر بهبود عملکرد میراگر تسلیم شونده U-شکل و جداگر هسته سربی در شتاب‌هایی با شدت $PGA \geq 0.2g$ مشهودتر از تحریکاتی با PGA های کمتر از آن می‌باشد.

در سازه بدون جداگر و میراگر تحت رکوردهای حوزه نزدیک احتمال آسیب ناچیز و متوسط در ترازهای پایین PGA تقریباً صفر بوده است و با افزایش PGA به $0.25g$ مقدار احتمال آسیب در این سطوح دفعه‌تاً افزایش چشمگیری می‌یابد. به نحویکه در تراز ورودی ذکر شده سازه با احتمال حدود ۸۰ درصد دچار آسیب خواهد شد. می‌توان اینگونه استنباط کرد که سازه بدون جداگر و میراگر تحت تحریکات نزدیک گسل نسبت به PGA بسیار حساس است و با افزایش ناچیز در این پارامتر ورودی احتمال آسیب‌هایی با سطوح ناچیز و متوسط به شدت افزایش می‌یابد. این حساسیت سازه با بهره‌گیری از جداگر و میراگر کاسته می‌شود به نحویکه PGA متناظر با احتمال آسیب ۸۰ درصد در سازه بدون جداگر و میراگر حدود $0.25g$ است اما در سازه با جداگر و میراگر این مقدار $0.45g$ می‌باشد.

بهبود عملکرد ناشی از استفاده از میراگر تسلیم شونده U-شکل و جداگر هسته سربی با مقایسه منحنی‌های شکنندگی جهت سازه ۸ طبقه تحت تحریکات حوزه نزدیک گسل در شکل (۵) نشان داده شده است.

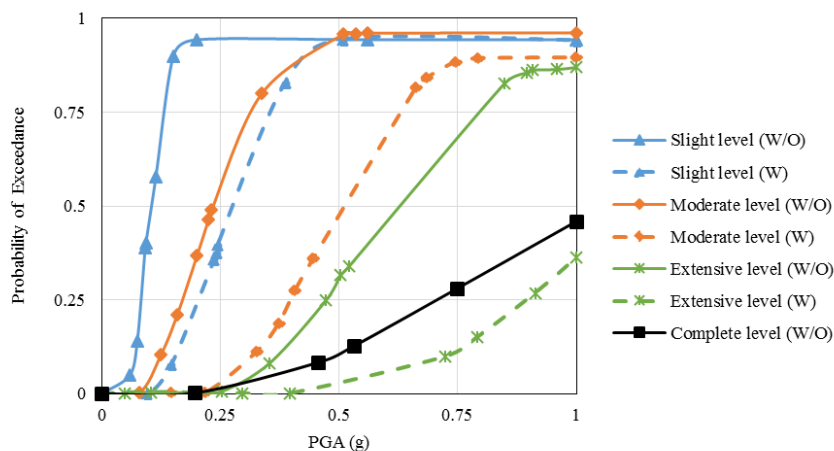


شکل (۵): منحنی شکنندگی تحلیلی لگ نرمال جهت سازه ۸ طبقه

همانگونه که در شکل (۵) قابل مشاهده است برخلاف منحنی استخراج شده قبلی، سازه ۸ طبقه تحت تحریکات نزدیک به گسل در ترازهای بالاتر از ۰.۵g دچار سطح آسیب جدی شده است؛ لکن این مقدار آسیب‌پذیری بسیار کمتر از مقدار متناظر جهت سازه بدون جداگر و میراگر می‌باشد به نحویکه احتمال آسیب جدی در سازه بدون جداگر و میراگر تحت رکوردهای نزدیک با $PGA=1g$ حدود ۶۰ درصد و در سازه با جداگر و میراگر حدود ۱۷ درصد می‌باشد.

مورد دیگری که در شکل (۵) نشان داده شده است تطابق نسبی منحنی شکنندگی سازه با جداگر و میراگر در حالت آسیب ناچیز به منحنی شکنندگی نظیر آسیب متوسط از سازه بدون جداگر و میراگر است؛ به عبارت دیگر با تجهیز سازه به جداگر و میراگر در این حالت یک سطح عملکرد بهبود در رفتار سازه تأمین شده است. این امر می‌تواند در مقاوم‌سازی سازه‌ها مورد توجه ویژه‌ای قرار گیرد.

همانطور که در شکل (۵) مشاهده گردید؛ سازه با جداگر و میراگر تحت رکوردهای حوزه نزدیک گسل سطح آسیب جدی را تجربه کرده است. البته احتمال آسیب در این سطح عملکرد متناظر شدت $PGA=1g$ در حدود ۱۵ درصد با افزایش روبرو بوده است. البته با توجه به شکل (۵) قابل مشاهده است که سطوح آسیب در سازه بدون جداگر و میراگر نیز با افزایش همراه بوده است و متناظر شدت $PGA=1g$ احتمال آسیب کامل سازه حدود ۴۰ درصد نشان داده شده است.



شکل (۴): منحنی شکنندگی تحلیلی لگ نرمال جهت سازه ۱۲ طبقه

در خصوص آسیب جدی که در هر دو سازه بدون جداگر و میراگر و با جداگر و میراگر تحت تحریکات حوزه نزدیک گسل مشاهده شده است خواهیم دریافت که متناظر $PGA=1g$ حدود ۸۰ درصد احتمال آسیب در سازه بدون جداگر و میراگر محتمل بوده است در صورتی که این احتمال آسیب به کمتر از ۳۵ درصد در سازه با جداگر و میراگر تقلیل یافته است.

با توجه به بررسی نتایج حاصل از آنالیز شکنندگی سازه‌های نمونه این پژوهش خواهیم دریافت که تکنیک میراگر تسلیم شونده U-شکل و جداگر هسته سربی برای سازه‌ها یکی از روش‌های مؤثر و مناسبی است که جهت مقاوم‌سازی سازه‌ها می‌توان از آن استفاده نمود. در تمام سازه‌های نمونه این پژوهش پس از مجهز شدن به سیستم جداگر و میراگر، بهبود عملکرد قابل توجهی مشاهده شده است. البته بهبود عملکرد سازه‌ها تحت رکوردهای حوزه نزدیک گسل وارد سطح آسیب جدی شده است که این سطح آسیب با ارتفاع سازه‌ها یک نسبت مشخصی داشته است به صورتی که متناظر شدت شتاب زمین در سازه ۴ طبقه با جداگر و میراگر در آنالیز شکنندگی به روش لگ نرمال ۱۱ درصد، در سازه ۸ طبقه با جداگر و میراگر، ۱۸ درصد و در سازه ۱۲ طبقه ۳۶ درصد احتمال عبور از این سطح عملکرد وجود داشته است. سازه‌های با جداگر و میراگر در سطح عملکرد moderate نیز دچار درصدی از احتمال آسیب شده‌اند که درصد آسیب نسبت به حالت حدی آسیب سازه‌های بدون جداگر و میراگر سنجیده شده است، در سازه‌های ۴ طبقه ۸ درصد، در سازه‌های ۸ طبقه ۵۱ درصد و در سازه‌های ۱۲ طبقه ۹۲ درصد احتمال آسیب نسبت به حالت بدون جداگر و میراگر بوده است. درست است که این سازه‌ها با بهبود عملکرد روبرو بوده‌اند؛ اما با افزایش ارتفاع، احتمال آسیب‌پذیری سازه حتی در حالت متوسط نیز به‌قدر قابل توجهی، مشاهده شده است.

۸- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی تاثیر استفاده از میراگرهای تسلیم شونده U-شکل و جداگرهای هسته سربی بر شکنندگی قاب‌های خمشی بتن‌آرمه در حوزه نزدیک گسل، پرداخته شد. پس از انجام این بررسی‌ها در این بخش به جمع‌بندی این نتایج و همچنین ارائه پیشنهاداتی جهت بررسی‌های بیشتر در ادامه پرداخته شده است.

نتایج بدست آمده از تحلیل مدل‌های مختلف، در فصل چهارم این پژوهش بطور کامل آورده شده است. در ادامه مهم‌ترین نتایج بدست آمده از این تحقیق آورده شده است.

۱- تکنیک میراگر تسلیم شونده U-شکل و جداگر هسته سربی در سازه‌ها به عنوان روشی مناسب جهت مقاوم‌سازی سازه‌ها در برابر زلزله مشاهده شده است؛ به‌گونه‌ای که در اکثر مدل‌های بررسی شده در این پژوهش، سطوح آسیب مجاز توصیه

شده مطابق آیین‌نامه‌های ارزیابی لرزه‌ای نسبت به حالت بدون جداگر و میراگر به سطوحی تبدیل شده است که می‌توان گفت تحت رکوردهای حوزه نزدیک عملکرد مطلوبی را داشته است و آسیب چندانی را تجربه ننموده‌اند.

۲- بهبود عملکرد لرزه‌ای در همه سازه‌های این پژوهش مشهود بوده است اما این بهبود با افزایش ارتفاع سازه‌ها از ۴ به ۱۲ طبقه کاسته می‌شود، به عنوان نمونه در سازه ۱۲ طبقه متناظر شدت $PGA=1g$ تحت رکوردهای حوزه نزدیک گسل ۳۵ درصد احتمال آسیب جدی مشاهده می‌شود حال آنکه مقدار نظیر آن در سازه ۴ طبقه کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد.

۳- در عملکرد سازه‌های مجهز به سیستم جداگر و میراگر تحت رکوردهای حوزه نزدیک گسل معمولاً ۳ سطح آسیب ناچیز، متوسط و جدی مشاهده شده است. حصول این نتیجه دور از انتظار نبوده است؛ به دلیل آنکه در تمامی سیستم‌های جذب انرژی بایستی حلقه‌های اتلاف انرژی تشکیل گردد تا انرژی ورودی زلزله با گذشتن از این حلقه‌ها مستهلک گردد، که این امر در شتابنگاشت‌های حوزه نزدیک گسل معمولاً کمتر به خوبی رخ می‌دهد و قبل از تشکیل حلقه‌های منصوب به هیسترتیک در سازه‌های با میراگر کل انرژی حاصل از زلزله به سازه اعمال خواهد شد و سازه فرصتی جهت تشکیل این حلقه‌ها و مستهلک نمودن انرژی ورودی حاصل از تحریک نخواهد نمود.

با توجه به آنکه توسعه منحنی‌های شکنندگی جهت سازه‌های بتن‌آرمه مجهز به میراگر تسلیم شونده U-شکل و جداگر هسته سربی برای اولین بار در این پژوهش استفاده شده است در مطالعات آتی می‌توان به موارد زیر نیز پرداخت:

۱- به کارگیری انواع سیستم‌های جداساز لرزه‌ای به صورت تنها و توأم با سیستم‌های جذب انرژی دیگر نظیر سیستم‌های غیرفعال میراگر.

۲- مطالعات سیستم‌های میراگر با توجه به پارامترهای دیگر آسیب نظیر شتاب نسبی طبقات و یا معرفی پارامترهای جدید.

۳- در نظر گرفتن پارامترهای ورودی دیگر شدت نظیر S_a ، S_d ، S_v و بررسی آنکه کدامیک از معیارهای شدت ورودی تحریک جهت سازه‌های مجهز به سیستم میراگر تسلیم شونده U-شکل مؤثرترند.

۴- در نظر گرفتن سطوح آسیب در المان‌های غیر سازه‌ای و بررسی احتمال شکست در این اعضا در سازه‌های دارای میراگر.

۵- ارائه منحنی‌های شکنندگی پیشنهادی جهت سازه‌های جداسازی شده در این سیستم باربر با بررسی تغییر سایر پارامترهای مؤثر در منحنی‌ها نظیر ارتفاع طبقات، طول دهانه و ...

۶- در نظر گرفتن سایر سیستم‌های باربر جانبی نظیر قاب و دیوار و یا انواع سازه‌های فولادی.

منابع

دائی، آ، پورشا، م، "مروری بر ویژگی‌های زلزله‌های حوزه نزدیک گسل"، نهمین کنگره ملی مهندسی عمران، ایران، مشهد، ۲۱ و ۲۲ اردیبهشت ماه ۹۵.

دودی، ح، ۱۳۸۷، ارزیابی آسیب پذیری لرزه‌ای پل‌های مقاوم سازی شده با استفاده از پوشش بتنی به کمک توابع شکنندگی. رساله کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی اصفهان.

Kelly, J.M., Skinner, R.I. and Heine, A.J. (1972), "Mechanisms of Energy Absorption in Special Devices for Use in Earthquake-resistant Structures", Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol. 5, No. 3, pp. 63-88.

Anagnos, T.; Rojahn, C. and Kiremidjian, A.S., NCEER-ATC Joint Study on Fragility of Buildings, National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER) (1995).

Murao, O. and Yamazaki, F., Development of Fragility Curves for Buildings in Japan, Confronting Urban Earthquakes: Report of Fundamental Research on the Mitigation of Urban Disasters Caused by Near-Field Earthquakes, pp. 226-230 (2000).

Akkar, S.; Sucuoglu, H. and Yakut, A., "Displacementbased fragility functions for low- and mid-rise ordinary concrete buildings", *Earthquake Spectra*, 21(4), pp. 901-927 (2005).

Anagnos, T.; Rojahn, C. and Kiremidjian, A.S. "Building fragility relationships for California", *Proceedings of the Fifth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, pp. 389-396 (1994).

Suzuki K. Saeki E. and Watanabe A. "Development of U-shaped Steel Damper for Seismic Isolation System", *Nippon Steel Technical Report*, No. 92, pp.56-61, July 2005.

Built S. 1982. Lead Rubber Dissipators for the Base Isolation of Bridge Structures. Report 289, School of Engineering, Department of Civil Engineering, University of Auckland, New Zealand.

Kelly, J. M. Base Isolation in Japan. 1988. Report No. UCB / EERC-88/20, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA.

Aguirre, M. and Sanchez, A.R. (1992), "Structural Seismic Damper", *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 118, No. 5, pp. 1158-1171.

Dolce, M., Filardi, B., Marnetto, R. and Nigro, D. (1996), "Experimental Tests and Applications of a New Biaxial Elasto-plastic Device for the Passive Control of Structures", *Fourth world congress on joint sealants and bearing systems for concrete structures*, ACI SP-164, Sacramento, California. *Steel Research*, 70, 213-225, 2012.

Investigating the effect of the U-shaped Metallic-Yielding Damper and Lead Rubber Bearing Isolators on the Fragility curve of Concrete Moment Resisting Frames in the Near-fault zone

Mohammadreza Neisi Daghlavi

Dept. of Civil Engineering Shahid Chamran University

Mohammaddaghlavi@gmail.com

Iman Valipoor

Dept. of Civil Engineering Shoushtar Azad University

Imanvalipoor@yahoo.com

Vahid Hatami Dezdarani

Dept. of Civil Engineering Shahid Chamran University

Vahid.hatami2019@yahoo.com

Abstract

Fragility curves are a useful tool for estimating the risk of urban infrastructure. These curves show the probability of failure for different levels of earthquake severity. With the aid of these curves, it is possible to prioritize them to determine the Fragility of structures. In this study, models of four, eight and twelve floors of reinforced concrete frames were considered, and U-shaped dampers and lead core Isolators were added. These structural models are subjected to incremental nonlinear dynamical analyses by using acceleration records near the fault with different frequency intensities and contents in Sap2000 software. Finally, the Fragility curves of the frames Have been drawn. The results showed that the technique of simultaneous use of U-shaped submerged jaw Isolators and lead core Isolators as a suitable method for retrofitting structures against earthquakes; so that in most survey models In this study, the recommended damage levels in accordance with seismic assessment regulations have become superficially independent of the non-dampers and separators, which can be said to have had a satisfactory performance under low-level records and have caused a great deal of damage. Have not experienced. Although improvement in seismic performance has been evident in all of the structures of this study, this improvement is reduced by increasing the height of structures from 4 to 12 floors, for example, in the 12-story structure, the intensity of $PGA = 1g$ The records of the near field of the fault are 35% probable to be seriously damaged, while its value in the 4th floor structure is less than 10%. In addition, in the performance of structures equipped with a damper and separator system under the records of the near-fault zone, there are usually 3 small, moderate and severe damage levels observed and the structure has not entered the level of damage.

Keywords: Fragility curve, Reinforced concrete moment frame, incremental dynamic analysis, U-shaped Metallic-Yielding damper, near-fault field earthquake, performance level.