



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

زمان چاپ: ۱۴۰۲/۰۶/۲۰

شماره مجوز مجله: ۸۰۴۰۰

ارزیابی میزان آسیب پذیری قابهای خمشی ویژه فولادی متداول در ایران از طریق رسم منحنی آسیب پذیری

سامان قلاوندی^۱، مهدی مهدوی عادل^۲

۱- کارشناس ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

Samanghalavandi1402@gmail.com

چکیده

منحنی آسیب پذیری یکی از ابزارهای اصلی مورد استفاده جهت ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای است که احتمال فراگذشت آسیب سازه از یک سطح آسیب مشخص را برای چندین سطح خطر از جنبش‌های لرزه‌ای زمین بیان می‌شوند. در این مقاله، به بررسی آسیب پذیری لرزه‌ای یکی از تیپ‌های ساختمانی متداول در سطح کشور، یعنی سازه‌های فولادی دارای سیستم قاب خمشی خاص با تعداد طبقات سه، پنج و دوازده که بر روی خاک نوع III قرار گرفته‌اند، پرداخته شد و منحنی آسیب پذیری برای این سازه‌ها با استفاده از یکی از قابل اعتمادترین روش‌ها برای رسم منحنی‌های آسیب پذیری یعنی روش HAZUS ایجاد شد. بدین منظور مدل‌ها در محیط نرم‌افزار OpenSees بصورت دو بعدی مدلسازی شدند. ۱۰ شتابنگاشت زلزله از نقاط مختلف دنیا که بر روی خاک نوع III روی داده‌اند، برگزیده شدند و هر کدام از این شتابنگاشت‌ها از مقدار ۰٫۱g تا ۱٫۵g با فواصل ۰٫۱ مقیاس گردیدند. نتایج این تحقیق نشان داد در خصوص سطح آسیب جزئی متأسفانه ملاحظه می‌گردد بخش قابل توجهی از قاب‌ها در شتاب بسیار کم حتی ۰/۲ و ۰/۲۵ هم دچار آسیب به میزان قابل توجهی خواهند شد و فقط در این سطح آسیب قاب پنج طبقه عملکرد خوبی از خود به نمایش می‌گذارد. در یک جمع بندی کلی می‌توان اذعان نمود بر اساس دستورالعمل Hazus در رسم منحنی‌های آسیب پذیری، قاب‌های خمشی فولادی گزینه‌ای بسیار مطلوب جهت جلوگیری از بروز خرابی گسترده و فروریزش در ساختمانها می‌باشد ولیکن باید دانست که در زلزله‌های شدید این نوع سیستم می‌تواند دچار خرابی‌های ترمیم پذیر گردد. همچنین این دستورالعمل بطور بسیار قابل توجهی نظریه متداول در احداث ساختمانها با قاب خمشی فولادی که حداکثر تا شش طبقه را بلحاظ اجرایی و کاربردی توصیه می‌کنند را تأیید می‌کند. این تحقیق نشان داد عملکرد لرزه‌ای و میزان آسیب پذیری قاب خمشی فولادی پنج طبقه تا حد کاملاً قابل توجهی بهتر از دو قاب هشت و دوازده طبقه است.

کلمات کلیدی: قاب خمشی فولادی ویژه، زلزله، آسیب پذیری، سطح عملکرد، دستور العمل Hazus



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

امروزه یکی از بحث‌های متداول بین پژوهشگران، ارزیابی عملکرد ساختمان‌ها در برابر زلزله است. از آنجا که اثرات تخریبی زمین‌لرزه در طراحی بسیاری از ساختمان‌های موجود لحاظ نشده و به خاطر عدم وجود دانش طراحی لرزه‌ای در زمان ساخت آنها، بروز خسارات گسترده در سازه‌های موجود در پی رخداد یک زلزله نسبتاً شدید دور از انتظار نخواهد بود. همانگونه که پیشتر گفته شد، منحنی آسیب پذیری تابعی است که به منظور تعیین تجاوز خرابی سازه از یک معیار معین، در مقابل افزایش شدت زلزله به کار می‌رود؛ از این رو یکی از راه‌های بررسی میزان خرابی سازه‌ها می‌باشد. از آنجا که ایران یکی از مناطق زلزله‌خیز است، و با توجه به اینکه بیشتر سازه‌های موجود بر اساس ضوابط لرزه‌ای احداث نشده‌اند، ضرورت دارد آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌های موجود، به ویژه آن دسته از سازه‌ها با کاربری زیاد، صورت پذیرد (بیگلری و همکاران، ۲۰۲۲).

در پژوهش کنونی، به بررسی ساختمان‌ها قاب‌های خمشی ویژه فولادی پرداخته شده و از یکی از قابل‌اعتمادترین روش‌ها برای رسم منحنی‌های آسیب‌پذیری یعنی روش Hazus برای ارزیابی سطوح عملکردی آنها استفاده شده است. این نرم‌افزار ابزاری برای تحلیل خطر طبیعی مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی است که از سوی آژانس مدیریت اضطراری فدرال (FEMA) مطرح و توزیع شد. در سال ۱۹۹۷، FEMA اولین نسخه بسته نرم‌افزاری ارزیابی ریسک و تلفات تجاری که بر اساس فناوری GIS ساخته شده بود را منتشر کرد که Hazus۹۷ نام داشت. نسخه کنونی و در دسترس Hazus-MH ۴,۰ می‌باشد که در آن MH مخفف «Multi-Hazard» است در سال ۲۰۱۷ منتشر شد از این نرم‌افزار می‌توان برای مدلسازی خطرات مختلف از جمله سیل، طوفان، موج ساحلی، سونامی و به ویژه زلزله استفاده نمود (فلسنستین و همکاران، ۲۰۲۱).

در این نرم‌افزار مدل ریسک در سه مرحله برآورد می‌شود: در مرحله اول، خطر برای یک منطقه انتخاب شده محاسبه می‌شود. در مرحله بعدی، سطح یا شدت خطر را که بر ناحیه در معرض خطر اثرگذار است، مشخص می‌شود. در مرحله آخر، از ناحیه در معرض خطر جهت محاسبه خسارات احتمالی از نظر اقتصادی، آسیب سازه‌ای و غیره استفاده می‌شود. اگرچه ابزار Hazus با تمرکز بر قاره آمریکا توسعه یافته، سازمان‌های مدیریت اضطرار در سراسر جهان از جمله سنگاپور، کانادا، استرالیا و پاکستان نیز از آن استفاده می‌کنند (پراتیوی، ۲۰۱۹).

۲- استفاده از نرم افزار HAZUS در رسم منحنی آسیب پذیری

مطابق دستورالعمل Hazus سازه‌ها از نظر سیستم ساختمانی به ۳۶ گروه تقسیم بندی شده‌اند و پس از آن هر گروه از نظر تعداد طبقات به سه زیرگروه تقسیم بندی شده‌اند. ساختمان‌های ۱ تا ۳ طبقه ساختمان‌های دارای طبقات کم یا اصطلاحاً Low-Rise، ساختمان‌های ۴ تا ۷ طبقه به عنوان ساختمان‌های دارای طبقات متوسط یا Mid-Rise و ساختمان‌های بالای ۸ طبقه ساختمان‌های دارای طبقات زیاد یا High-Rise هستند. تقسیم بندی سیستم‌های ساختمانی در Hazus در جدول یک نشان داده شده است (کوهی کمالی و قدرتی امیری، ۱۴۰۰).

ساختمان‌های دارای سیستم قاب خمشی از جمله سیستم‌های سازه‌ای می‌باشند که امروزه در کشور ما فراوانی نسبتاً بالایی دارند. از این رو در این تحقیق مطالعه‌ی شکنندگی این نوع سازه‌ها بررسی شده است. ساختمان‌های مورد بررسی، دارای سیستم قاب خمشی فولادی، با تعداد طبقات ۳ به عنوان کوتاه مرتبه، ۵ به عنوان میان مرتبه و ۱۲ به عنوان بلند مرتبه هستند که برای هر یک منحنی آسیب پذیری به صورت جداگانه ایجاد شده و در نهایت شکنندگی گروه‌های گوناگون با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته است (گرگی و همکاران، ۱۳۹۹).

علاوه بر این جهت تهیه‌ی منحنی آسیب پذیری و استفاده از روابط و ضرایب موجود در Hazus می‌بایست نوع طراحی لرزه‌ای مطابق دستورالعمل Hazus تعیین گردد (کیارستمی و زندی، ۱۳۹۶). با توجه به اینکه در این مقاله، مدل‌ها با رعایت کلیه بندهای آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌های فولادی و آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ طراحی گردیده‌اند و تلاش شده است در طراحی مدل‌ها کلیه ضوابط طراحی لرزه‌ای رعایت گردد، لذا حالت طراحی High-code برای مدل‌ها لحاظ شده است.



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

جدول شماره (۱): توصیف ساختمانها در دستورالعمل Hazus و انتخاب سه نوع ساختمان هدف این مقاله

Description	Label	Height	Stories
Wood, Light Frame	W1		1 – 2
Wood, Commercial and Industrial	W2		All
Steel Moment Frame	S1L	Low-Rise	1 – 3
	S1M	Mid-Rise	4 – 7
	S1H	High-Rise	8 +
Steel Braced Frame	S2L	Low-Rise	1 – 3
	S2M	Mid-Rise	4 – 7
	S2H	High-Rise	8 +
Steel Light Frame	S3		All
Steel Frame with Cast-in-Place Concrete Shear Walls	S4L	Low-Rise	1 – 3
	S4M	Mid-Rise	4 – 7
	S4H	High-Rise	8 +
Steel Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	S5L	Low-Rise	1 – 3
	S5M	Mid-Rise	4 – 7
	S5H	High-Rise	8 +
Concrete Moment Frame	C1L	Low-Rise	1 – 3
	C1M	Mid-Rise	4 – 7
	C1H	High-Rise	8 +
Concrete Shear Walls	C2L	Low-Rise	1 – 3
	C2M	Mid-Rise	4 – 7
	C2H	High-Rise	8 +
Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	C3L	Low-Rise	1 – 3
	C3M	Mid-Rise	4 – 7
	C3H	High-Rise	8 +
Precast Concrete Tilt-Up Walls	PC1		All
Precast Concrete Frames with Concrete Shear Walls	PC2L	Low-Rise	1 – 3
	PC2M	Mid-Rise	4 – 7
	PC2H	High-Rise	8 +
Reinforced Masonry Bearing Walls with Wood or Metal	RM1L	Low-Rise	1 – 3

۳- پارامترهای قاب‌های مورد تحلیل

بار مرده برابر 460 kg/m^2 و بار زنده برابر 200 kg/m^2 مد نظر قرار گرفته است. مطابق آیین‌نامه‌ی بارگذاری، مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، ضریب مشارکت بار زنده برابر با ۲۰٪ لحاظ شده است.

$$M = DL + 0.2LL = 460 + 0.2 \times 200 = 500 \text{ kg/m}^2 \quad (1)$$

مطابق آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ ضریب رفتار برای سیستم قاب خمشی ویژه ۱۰ است و مطابق تعریف موجود در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰، خاک نوع III انتخاب گردیده است. ابعاد این مدل 13.5×10.5 m است. در جدول شماره ۲ مشخصات مصالح مورد استفاده ارائه شده است. بارگذاری و مصالح مورد استفاده برای همه مدل‌ها یکسان می‌باشد و تنها تعداد طبقات در مدل‌ها تغییر خواهد نمود.

جدول شماره (۲): مشخصات مصالح فولادی مورد استفاده در مدلسازی قابها

وزن واحد حجم	7850 kg/cm^3
مدول ارتجاعی	$2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

ضریب پواسون	۰,۳
تنش تسلیم	۲۴۰۰ kg/cm ^۲
تنش گسیختگی	۴۰۰۰ kg/cm ^۲

۳- انتخاب شتابنگاشتهای زلزله

مطابق توصیه (پاتل و واسان واوا، ۲۰۲۰)، معمولاً استفاده از ۱۰ تا ۲۰ شتابنگاشت زلزله برای برآورد تقاضای آسیب از دقت قابل قبولی برخوردار می باشد. در این پژوهش ۱۰ شتابنگاشت زلزله از نقاط مختلف دنیا که بر روی خاک نوع III روی داده است، از بانک داده‌های زلزله PEER استخراج گردیده و از ۰,۱g تا ۱,۵g با فواصل ۰,۱ مقیاس شده است و نهایتاً تعداد ده شتاب نگاشت ایجاد شده است. مشخصات این شتابنگاشت‌های زلزله به قرار زیر می باشد:

جدول شماره (۳): فهرست و مشخصات شتابنگاشتهای زلزله‌های انتخابی

شماره	نام زلزله	سال وقوع	بزرگا (M)	PGA (g)
۱	Imperial vally	۱۹۷۹	۶,۵	۰,۵۰۶
۲	Imperial vally	۱۹۷۹	۶,۵	۰,۲۸۷
۳	Loma prieta	۱۹۸۹	۶,۹	۰,۵۲۹
۴	Loma prieta	۱۹۸۹	۶,۹	۰,۴۴۳
۵	Morgan hill	۱۹۸۴	۶,۲	۰,۳۱۲
۶	Northridge	۱۹۹۴	۶,۷	۰,۸۳۸
۷	Northridge	۱۹۹۴	۶,۷	۰,۴۷۲
۸	Northridge	۱۹۹۴	۶,۷	۰,۳۵۸
۹	Parkfield	۱۹۶۶	۶,۱	۰,۴۴۲
۱۰	Whitter narrows	۱۹۸۷	۶	۰,۲۹۶

مدل‌های مورد بررسی، با استفاده از نرم افزار ETABS مدل‌سازی گردیده‌اند و با رعایت همه بندهای آیین‌نامه، مقاطع تیر و ستون برای هرکدام از آنها استخراج گردیده است. پس از آن سازه‌ها در محیط نرم افزار OpenSees مدل‌سازی گردیده و تحلیل شده‌اند (مک‌کنا و همکاران، ۲۰۱۰).

۴- شاخص آسیب و سطوح آسیب

جهت بررسی آسیب‌پذیری سازه‌ها، ضروریست یک شاخص آسیب لحاظ شود. در اینجا جابجایی جانبی نسبی طبقات (دریفت) به عنوان شاخص آسیب مد نظر قرار گرفته است. یعنی حالات گوناگون خرابی از روی مقدار دریفت تعریف و بررسی می گردد. همچنین می بایست یک سری حالات خرابی تعیین و تعریف گردد تا مدل‌های مورد بررسی بر مبنای رسیدن به این حدود خرابی، از نظر آسیب‌پذیری لرزه‌ای بررسی گردند (فلاح علی آبادی و همکاران، ۲۰۲۰). در این پژوهش، حالات خرابی تعریف شده در Hazus MH-MR۵ به کار برده شده است. حالات خرابی ارائه شده در دستورالعمل Hazus برای ساختمان‌های فولادی دارای سیستم قاب خمشی با طبقات متوسط و زیاد، چهار حالت خرابی بر مبنای نسبت دریفت بین طبقه لحاظ شده است که به ترتیب حالت خرابی جزئی (Slight)، حالت خرابی متوسط (Moderate)، حالت خرابی گسترده (Extensive) و حالت خرابی کلی یا کامل (Complete) هستند. در جدول ۴ مقادیر عددی مرتبط با هر حالت خرابی ارائه گردیده است.

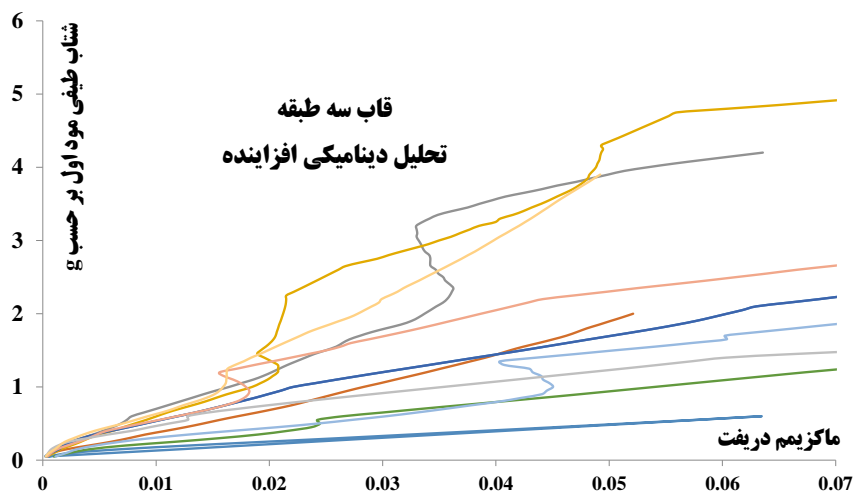
جدول شماره (۴): تعریف مقادیر دریفت برای سطوح آسیب پذیری ساختمانهای هدف

حالت خرابی	قاب خمشی با تعداد طبقات کم	قاب خمشی با تعداد طبقات متوسط	قاب خمشی با تعداد طبقات زیاد
جزئی (Slight)	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳
متوسط (Moderate)	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶
گسترده (Extensive)	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱۵
کلی (Complete)	۰/۰۶	۰/۰۵۳۳	۰/۰۴

در حقیقت مقدار دریفت حاصل شده برای هر مدل تحت هر کدام از شتابنگاشتهای زلزله، با مقادیر ارائه شده در جدول بالا مقایسه می گردند تا رسیدن یا فراگذشت هر مدل در هر مقدار شتاب حداکثر زمین به هریک از این حالات خرابی مورد بررسی قرار گیرد. برای نمونه هرگاه نسبت دریفت در مدل به مقدار ۰/۰۰۳ رسید، سازه به حالت خرابی اول (جزئی) رسیده است. پس از بررسی همه مدل ها می توان به نتایج مورد نیاز دست یافت و منحنی آسیب پذیری ایجاد کرد که در ادامه روش تهیه منحنی آسیب پذیری با استفاده از تحلیل دینامیکی افزایشی و مدل احتمالاتی تقاضای لرزه ای به طور کامل ارائه گردیده است.

۵- تحلیل دینامیکی افزایشی

روش تحلیل دینامیکی افزایشی یکی از جدیدترین روشها می باشد که در آن از مفهوم مقیاس نمودن شتابنگاشتهای حرکت زمین و گسترش آن به روشی که بتوان کل محدوده رفتاری سازه از الاستیک تا ویرانی را به دقت پوشش داد، استفاده می گردد. در این روش مدل سازه ای تحت یک یا چند شتابنگاشت حرکت زمین که با سطوح شدت مختلف مقیاس گردیده اند قرار می گیرد. بعد از انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی، یک یا چند منحنی از پاسخ پارامتریک در برابر سطوح شدت به دست خواهد آمد. کل محدوده رفتاری مدل در این منحنی ها تحت پوشش قرار می گیرد و نهایتاً می توان با تعریف حالات حدی و ترکیب نتایج با منحنی های تحلیل احتمالی به ارزیابی سازه ها پرداخت (وامواتسیکوس و کرنل، ۲۰۰۴).

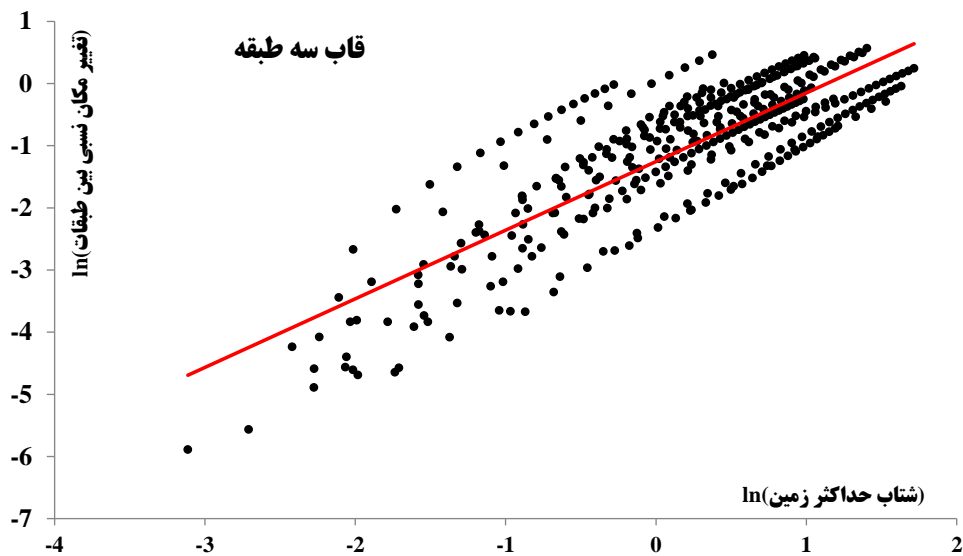


شکل شماره (۱): نمونه منحنی دینامیکی افزایشی قاب سه طبقه

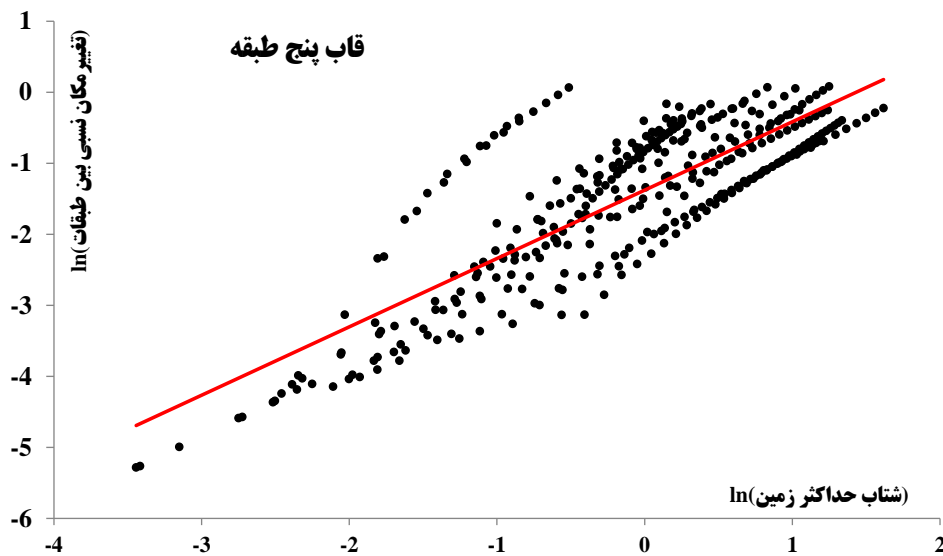
در این تحقیق سه قاب سه، پنج و دوازده طبقه تحت اثر تحلیل دینامیکی افزایشی ناشی از ده شتابنگاشت قرار گرفت که نمونه نتایج در شکل شماره ۱ مشاهده می گردد.

۶- تعیین مدل‌های تقاضای لرزه‌ای احتمالاتی

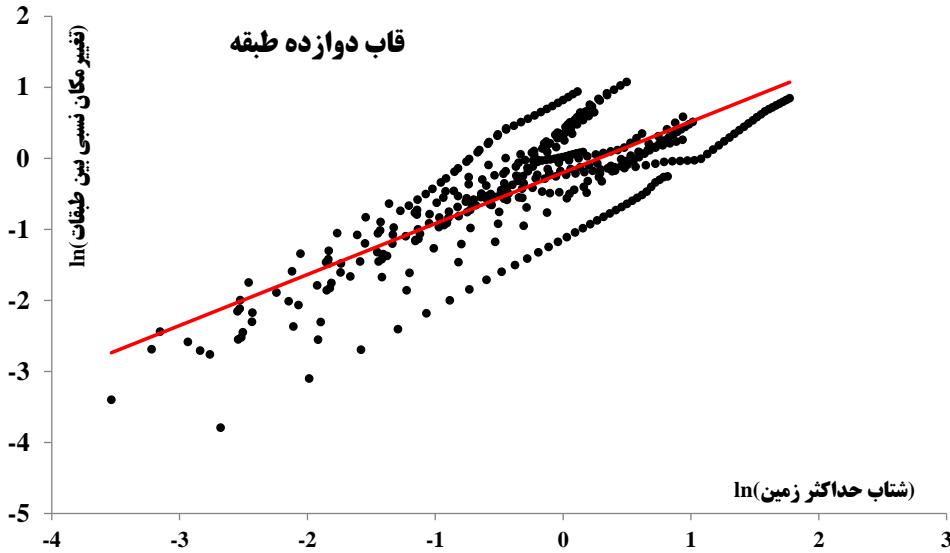
در این قسمت مدل تقاضای لرزه‌ای احتمالاتی سازه با به کارگیری از مجموعه‌ای از زلزله‌های منتخب بدست می‌آید. مقادیر تقاضا برای مقدار دررفت مدل‌ها استخراج و در اشکال معادلات تقاضای لرزه‌ای برای شتابنگاشت‌های مورد نظر ارائه گردیده است (بخشی و سلطانیه، ۲۰۱۹)



شکل شماره (۲): تعیین مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای برای قاب سه طبقه با نتایج تحلیل دینامیکی افزایشی



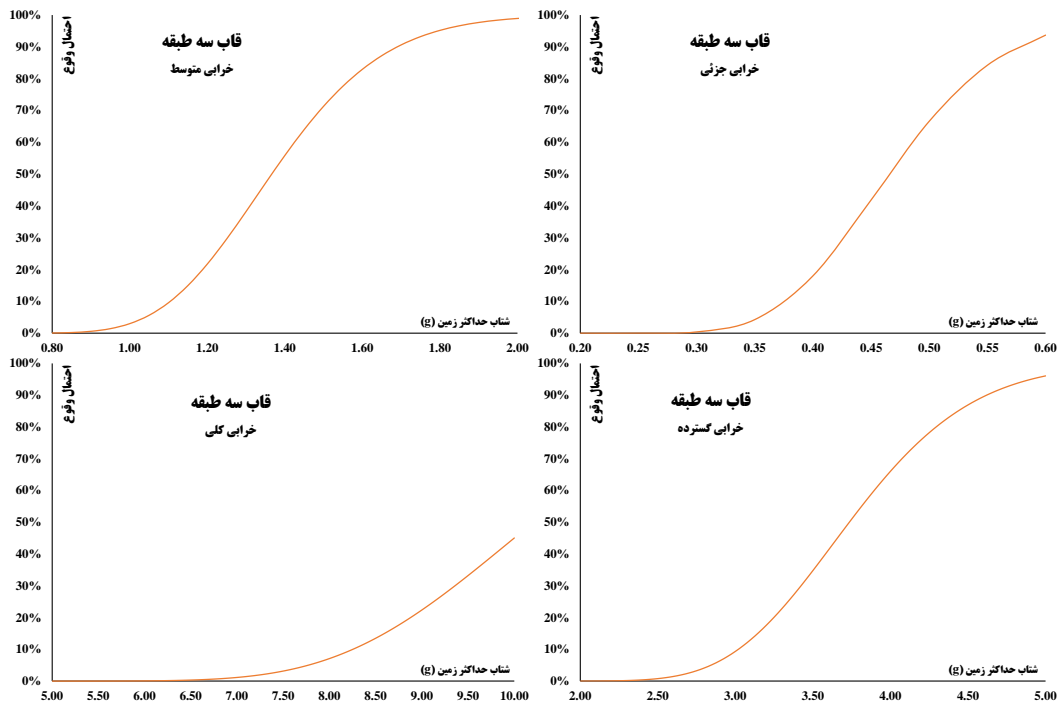
شکل شماره (۳): تعیین مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای برای قاب پنج طبقه با نتایج تحلیل دینامیکی افزایشی



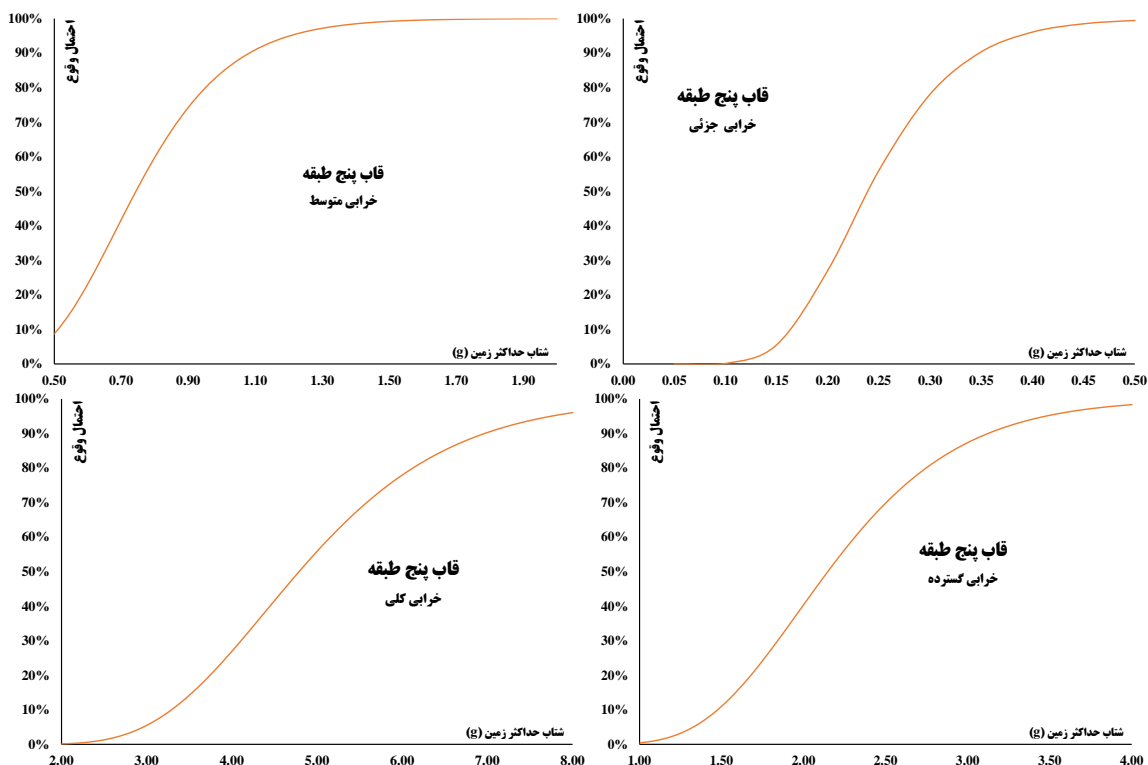
شکل شماره (۴) : تعیین مدل احتمالاتی تقاضای لرزه ای برای قاب دوازده طبقه با نتایج تحلیل دینامیکی افزایشی

۶- رسم منحنی‌های شکنندگی

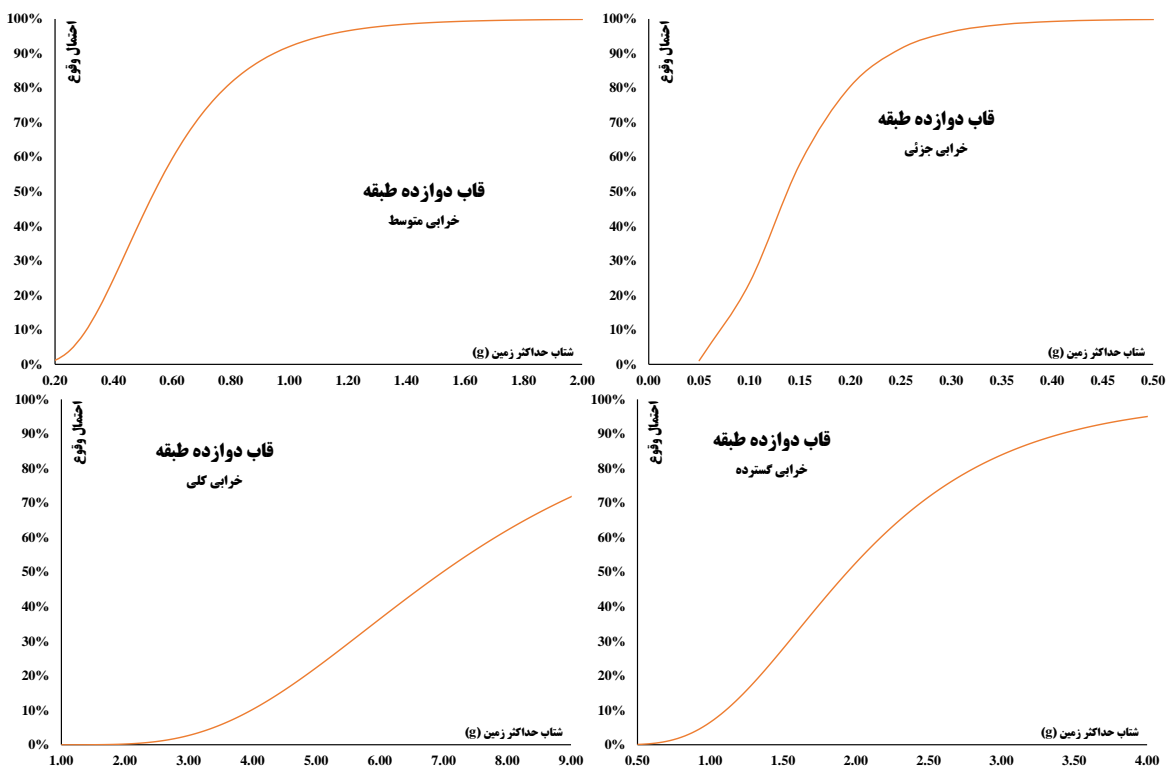
برای عملکرد مطلوب سازه، احتمال بروز خرابی سازه در هر سطح عملکرد، می بایست زیر ۵۰ درصد باشد چرا که در غیر اینصورت عملکرد سازه در آن حالت حدی نامطلوب ارزیابی می گردد. در این قسمت به ترتیب در شکل ۵ منحنی آسیب پذیری ایجاد شده برای مدل ۳ طبقه فولادی، در شکل ۶ منحنی آسیب پذیری مدل ۵ طبقه فولادی و نهایتاً در شکل ۷ منحنی شکست برای سازه‌های ۱۲ طبقه فولادی، برای ۴ حالت خرابی ارائه گردیده است (حسین پور و عبدالنبی، ۲۰۱۷).



شکل شماره (۴) : منحنی های آسیب پذیری قاب سه طبقه در چهار سطح عملکردی



شکل شماره (۵): منحنی های آسیب پذیری قاب پنجم طبقه در چهار سطح عملکردی



شکل شماره (۶): منحنی های آسیب پذیری قاب دوازده طبقه در چهار سطح عملکردی



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

منحنی‌های شکست ارائه شده در فوق نشان دهنده آن هستند که در حالت کلی هرچه منحنی‌ها به سمت چپ حرکت نمایند، بدین معناست که احتمال وقوع شکنندگی افزایش پیدا می‌کند. یعنی احتمال فراگذشت سازه از حالت خرابی کم در مقادیر PGA کمتر روی می‌دهد و به ترتیب حالات خرابی متوسط، وسیع و کلی در مقادیر بالاتر PGA روی می‌دهد.

در همه منحنی‌ها، برای حالات خرابی کم و متوسط ابتدا شیب منحنی زیاد است و پس از آن کاهش پیدا می‌کند. این تغییر شیب تقریباً در PGAهای بالاتر از ۰/۶ روی می‌دهد و علت این رویداد، این است که تا ۰/۶ احتمال فراگذشت از حالات خرابی بین ۰ تا ۱۰۰٪ در حال تغییر می‌باشد و پس از ۰/۶ $PGA =$ احتمال بروز خرابی در حدود ۱۰۰٪ خواهد بود. برای حالت خرابی وسیع منحنی‌ها تقریباً با شیب یکنواخت در حال تغییر می‌باشند و همچنین در حالت خرابی کلی نیز تغییرات شیب بسیار کم است. اگر ملاک پنجاه درصد در نظر گرفته شود، می‌توان بر اساس مدل Hazus در خصوص وضعیت سازه‌های فولادی اظهار نظر بسیار کاربردی داشت.

در خصوص سطح آسیب جزئی متأسفانه ملاحظه می‌گردد بخش قابل توجهی از قاب‌ها در شتاب بسیار کم حتی ۰/۲ و ۰/۲۵ هم دچار آسیب به میزان قابل توجهی خواهند شد و فقط در این سطح آسیب قاب پنج طبقه عملکرد خوبی از خود به نمایش می‌گذارد. در سطح آسیب متوسط هم اوضاع تقریباً مشابه با آسیب جزئی است و بیش از ۵۰٪ قابهای ۸ و ۱۲ طبقه هنگامیکه شتاب به میزان ۰٫۵ می‌رسد دچار آسیب خواهند شد که چندان مناسب نیست. در این حالت قاب پنج طبقه هم عملکرد مطلوبی دارد.

برای خرابی گستره اوضاع این نوع قاب عملکرد خوبی از خود نشان داده است. برای وقوع ۵۰٪ آسیب در این نوع سازه‌ها باید شتاب به عدد بسیار قابل توجه ۲ برسد که تقریباً محال است و می‌توان از این مورد اطمینان حاصل نمود. به گونه‌ای مشابه نتایج این تحقیق بصورت کاربردی نشان می‌دهد این سیستم سازه‌ای برای مقابله با فروریزش بسیار گزینه مناسبی است زیرا جهت بروز خرابی فروریزش ۵۰٪ در آن لازم است که شتاب حداکثر زمین به مقدار تقریباً محال ۵ برسد.

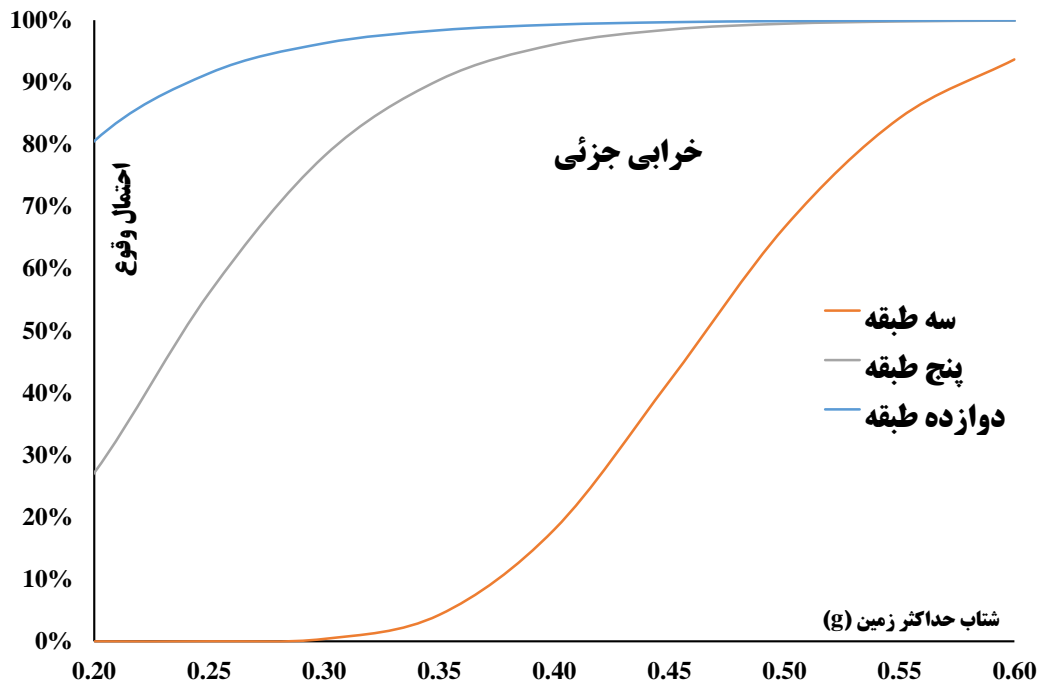
در یک جمع بندی کلی می‌توان اذعان نمود بر اساس دستورالعمل Hazus در رسم منحنی‌های آسیب‌پذیری، قاب‌های خمشی فولادی گزینه‌ای بسیار مطلوب جهت جلوگیری از بروز خرابی گسترده و فروریزش در ساختمانها می‌باشد ولیکن باید دانست که در زلزله‌های شدید این نوع سیستم می‌تواند دچار خرابی‌های ترمیم پذیر گردد.

۷- مقایسه منحنی‌های آسیب پذیری

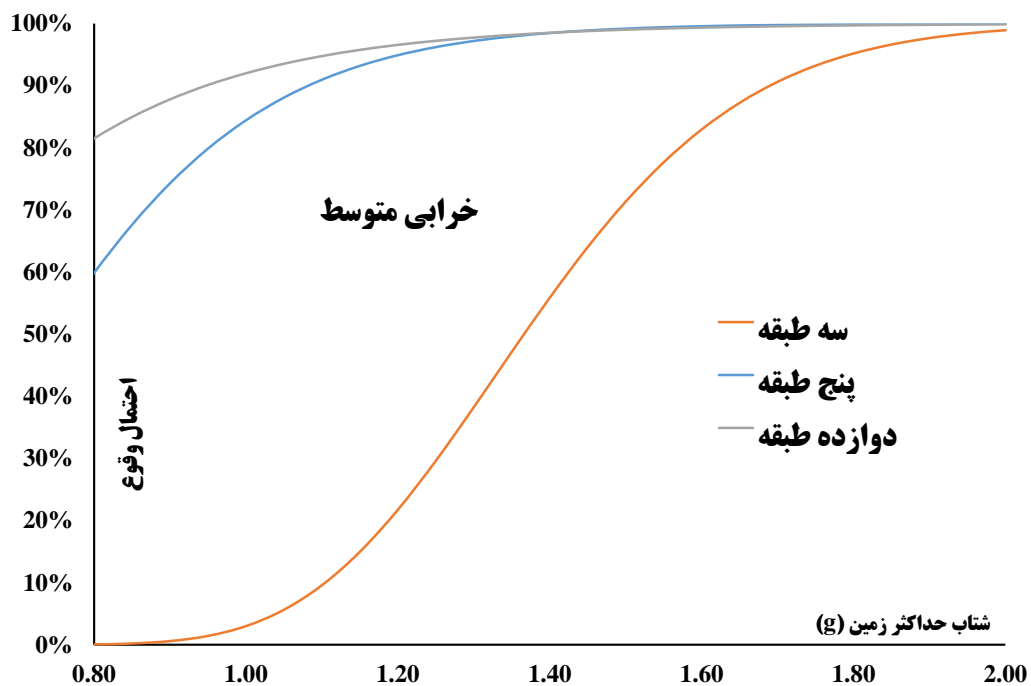
در ادامه شکنندگی سازه‌های فولادی دارای طبقات گوناگون در ۴ حالت خرابی کم، متوسط، گسترده و کلی با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند که به ترتیب در شکل‌های ۷، ۸، ۹ و ۱۰ نتایج این مقایسه نشان داده شده‌اند. از بررسی منحنی‌های شکست ارائه شده در فوق می‌توان چنین نتیجه گرفت که در حالت کلی (بجز مرحله تقریباً نامحتمل فروریزش)، شکنندگی با افزایش تعداد طبقات افزایش پیدا می‌کند.

بین مدل‌های ۵ و ۱۲ طبقه تفاوت شکنندگی آن‌چنان زیاد نیست و منحنی این مدل‌ها در هر چهار حالت خرابی به هم نزدیک می‌باشند. ولی منحنی شکست مدل ۳ طبقه با دو مدل بعدی تفاوت بیشتری دارد. یعنی مدل سه طبقه نسبت به مدل‌های ۵ و ۱۲ طبقه شکنندگی کمتری دارد در حالیکه شکنندگی مدل‌های پنج و دوازده طبقه به هم نزدیک می‌باشد. منحنی‌های شکست مدل‌های پنج و دوازده طبقه در سه حالت خرابی کم، متوسط و گسترده تقریباً برهم منطبق هستند. لیکن در فروریزش که احتمال وقوع آن کلاً بسیار کم است تفاوت بین منحنی‌ها محسوس است.

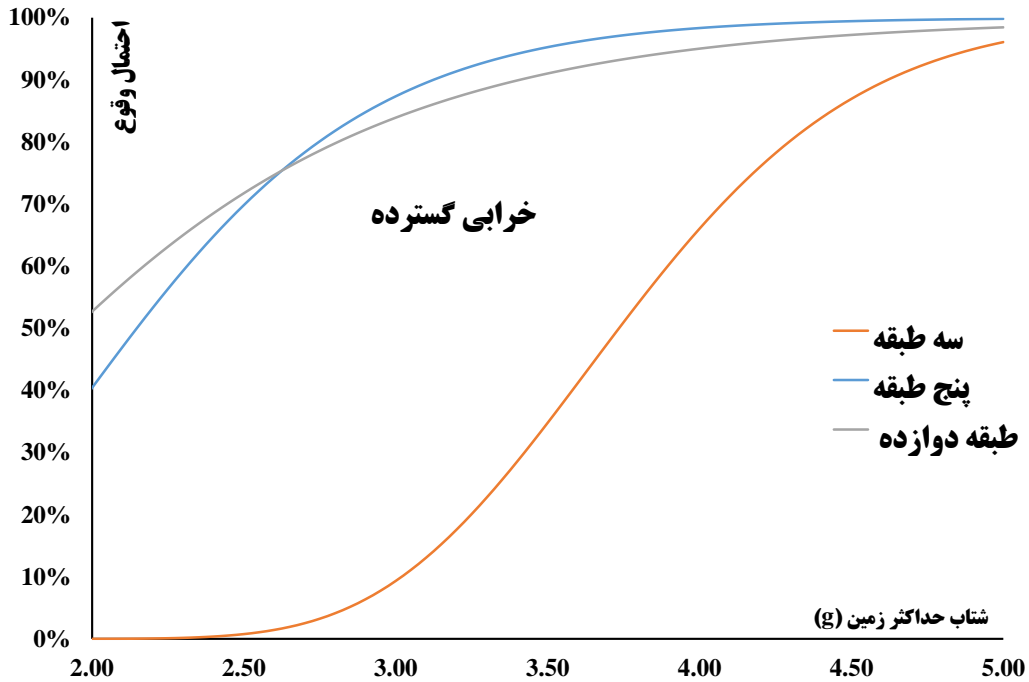
استفاده از دستورالعمل Hazus در رسم منحنی‌های آسیب‌پذیری، بطور قابل توجهی نظیریه متداول در احداث ساختمانها با قاب خمشی فولادی که حداکثر تا سه طبقه را بلحاظ اجرایی و کاربردی توصیه می‌کنند را تأیید می‌کند. همچنین این تحقیق نشان می‌دهد عملکرد لرزه‌ای و میزان آسیب‌پذیری قاب خمشی فولادی سه طبقه تا حد کاملاً قابل توجهی بهتر از دو قاب پنج و دوازده طبقه است.



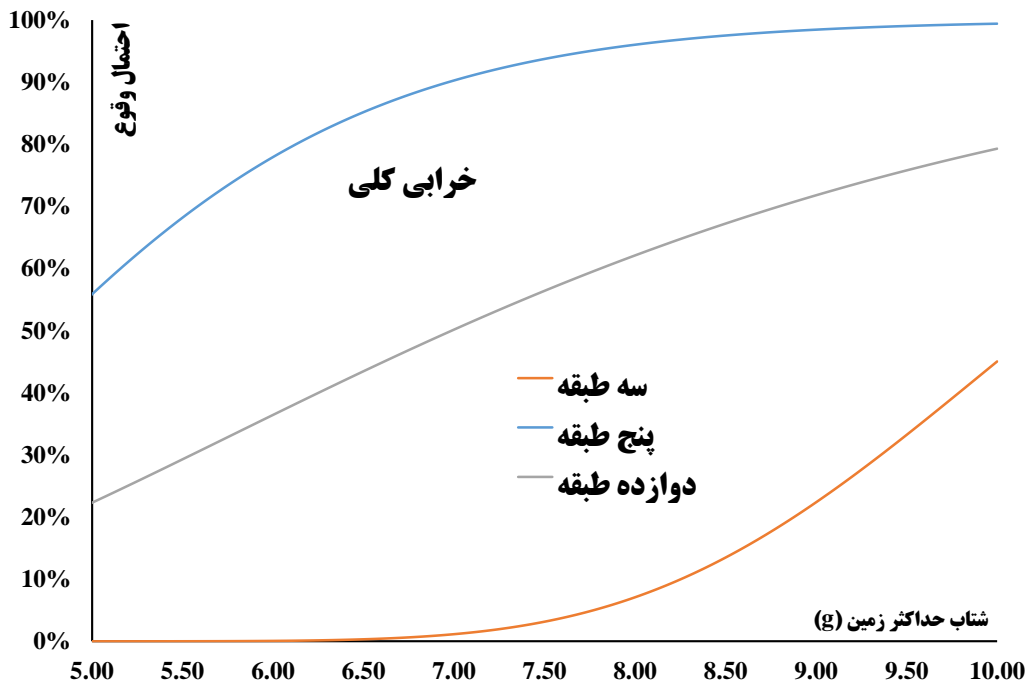
شکل شماره (۷) : مقایسه منحنی‌های آسیب پذیری سه قاب در سطح خرابی جزئی



شکل شماره (۸) : مقایسه منحنی‌های آسیب پذیری سه قاب در سطح خرابی متوسط



شکل شماره (۹) : مقایسه منحنی‌های آسیب پذیری سه قاب در سطح خرابی گسترده



شکل شماره (۱۰) : مقایسه منحنی‌های آسیب پذیری سه قاب در سطح خرابی کلی



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

۸- نتیجه گیری

- ✓ منحنی های شکست ارائه شده در این پایان نامه نشان دهنده آن هستند که در حالت کلی هرچه منحنی ها به سمت چپ حرکت نمایند، بدین معناست که احتمال وقوع شکنندگی افزایش پیدا می کند. یعنی احتمال فراگذشت سازه از حالت خرابی کم در مقادیر شتاب حداکثر زمین کمتر روی می دهد و به ترتیب حالات خرابی متوسط، وسیع و کلی در مقادیر بالاتر مقادیر شتاب حداکثر زمین روی می دهد.
- ✓ در همه منحنی ها، برای حالات خرابی کم و متوسط ابتدا شیب منحنی زیاد است و پس از آن کاهش پیدا می کند. این تغییر شیب تقریباً در PGAهای بالاتر از ۰/۶ روی می دهد و علت این رویداد، این است که تا ۰/۶ احتمال فراگذشت از حالات خرابی بین ۰ تا ۱۰۰٪ در حال تغییر می باشد و پس از ۰/۶ $PGA =$ احتمال بروز خرابی در حدود ۱۰۰٪ خواهد بود. برای حالت خرابی وسیع منحنی ها تقریباً با شیب یکنواخت در حال تغییر می باشند و همچنین در حالت خرابی کلی نیز تغییرات شیب بسیار کم است.
- ✓ در خصوص سطح آسیب جزئی متأسفانه ملاحظه می گردد بخش قابل توجهی از قاب ها در شتاب بسیار کم حتی ۰/۲ و ۰/۲۵ هم دچار آسیب به میزان قابل توجهی خواهند شد و فقط در این سطح آسیب قاب سه طبقه عملکرد خوبی از خود به نمایش می گذارد.
- ✓ در سطح آسیب متوسط هم اوضاع تقریباً مشابه با آسیب جزئی است و بیش از ۵۰٪ قاب های ۸ و ۱۲ طبقه هنگامیکه شتاب به میزان ۰٫۵ می رسد دچار آسیب خواهند شد که چندان مناسب نیست. در این حالت قاب سه طبقه هم عملکرد مطلوبی دارد.
- ✓ برای خرابی گستره اوضاع این نوع قاب عملکرد خوبی از خود نشان داده است. برای وقوع ۵۰٪ آسیب در این نوع سازه ها باید شتاب به عدد بسیار قابل توجه ۲ برسد که تقریباً محال است و می توان از این مورد اطمینان حاصل نمود.
- ✓ به گونه ای مشابه نتایج این تحقیق بصورت کابردی نشان می دهد این سیستم سازه ای برای مقابله با فروریزش بسیار گزینه مناسبی است زیرا جهت بروز خرابی فروریزش ۵۰٪ در آن لازم است که شتاب حداکثر زمین به مقدار تقریباً محال ۵ برسد.
- ✓ در یک جمع بندی کلی می توان اذعان نمود بر اساس نتایج این تحقیق دستورالعمل Hazus در رسم منحنی های آسیب پذیری، قاب های خمشی فولادی گزینه ای بسیار مطلوب جهت جلوگیری از بروز خرابی گسترده و فروریزش در ساختمانها می باشد ولیکن باید دانست که در زلزله های شدید این نوع سیستم می تواند دچار خرابی های ترمیم پذیر گردد.
- ✓ از بررسی منحنی های شکست ارائه شده در این پایان نامه می توان چنین نتیجه گرفت که در حالت کلی (بجز مرحله تقریباً نامحتمل فروریزش)، شکنندگی با افزایش تعداد طبقات افزایش پیدا می کند.
- ✓ بین مدل های ۵ و ۱۲ طبقه تفاوت شکنندگی آن چنان زیاد نیست و منحنی این مدل ها در هر چهار حالت خرابی به هم نزدیک می باشند. ولی منحنی شکست مدل ۳ طبقه با دو مدل بعدی تفاوت بیشتری دارد. یعنی مدل ۳ طبقه نسبت به مدل های ۵ و ۱۲ طبقه شکنندگی کمتری دارد در حالیکه شکنندگی مدل های ۵ و ۱۲ طبقه به هم نزدیک می باشد. منحنی های شکست مدل های ۵ و ۱۲ طبقه در سه حالت خرابی کم، متوسط و گسترده تقریباً برهم منطبق هستند. لیکن در فروریزش که احتمال وقوع آن کلاً بسیار کم است تفاوت بین منحنی ها محسوس است.
- ✓ استفاده از دستورالعمل Hazus در رسم منحنی های آسیب پذیری، بطور بسیار قابل توجهی نظیریه متداول در احداث ساختمانها با قاب خمشی فولادی که حداکثر تا سه طبقه را بلحاظ اجرایی و کاربردی توصیه می کنند را تأیید می کند. این تحقیق نشان می دهد عملکرد لرزه ای و میزان آسیب پذیری قاب خمشی فولادی سه طبقه تا حد کاملاً قابل توجهی بهتر از دو قاب پنج و دوازده طبقه است.



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

مراجع

۱. کوهی کمالی، م.؛ قدرتی امیری، غ (۱۴۰۰). تحلیل خطرپذیری کیفی ساختمانهای منتخب موجود در شهرکرد مطابق ضوابط HAZUS بر مبنای منطق فازی، نشریه مهندسی سازه و ساخت، دوره: ۸، شماره: ۴۹
۲. کیارستمی، ن.؛ زندی، ه. (۱۳۹۶). تخمین خسارت سوانح طبیعی با نرم افزار HAZUS-MH، کنفرانس بین المللی زلزله، مدیریت بحران، احیا و بازسازی، قزوین
۳. گرجی، الف. ح. و درویشان، الف. و باباجانینان بیشه، ح. (۱۳۹۹). بررسی اثر عدم قطعیت‌های ذاتی و شناختی در منحنی‌های شکنندگی سیستم قاب خمشی فولادی، فصلنامه مهندسی عمران فردوسی، دوره: ۳۳، شماره: ۳
۴. Bakhshi, A. and Soltanieh, H., (۲۰۱۹). Development of Fragility Curves for Existing Residential Steel Buildings with Concentrically Braced Frames, *Scientia Iranica A*, ۲۶(۴), ۲۲۱۲-۲۲۲۸
۵. Biglari, M., Formisano, A., & Davino, A. (۲۰۲۲). Seismic vulnerability assessment and fragility analysis of Iranian historical mosques in Kermanshah city. *Journal of Building Engineering*, ۴۵, ۱۰۳۶۷۳.
۶. Fallah-Aliabadi, S., Ostadtaghizadeh, A., Ardalan, A., Eskandari, M., Fatemi, F., Mirjalili, M. R., & Khazai, B. (۲۰۲۰). Risk analysis of hospitals using GIS and HAZUS: A case study of Yazd County, Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, ۴۷, ۱۰۱۵۵۲.
۷. Felsenstein, D., Elbaum, E., Levi, T., & Calvo, R. (۲۰۲۱). Post-processing HAZUS earthquake damage and loss assessments for individual buildings. *Natural Hazards*, ۱۰۵(۱), ۲۱-۴۵.
۸. Hosseinpour, F. and Abdelnaby, A. E. (۲۰۱۷). Fragility curves for RC frames under multiple earthquakes, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume ۹۸, Pages ۲۲۲-۲۳۴,
۹. McKenna, F., Fenves, G., Filippou, F., Mazzoni, S., Scott, M., Elgamal, A., & McKenzie, P. (۲۰۱۰). *OpenSees*. University of California, Berkeley: nd.
۱۰. Patel, N. K., & Vasanwala, S. A. (۲۰۲۰). Propagating fragility curve for RC buildings via HAZUS methodology. *Materials today: Proceedings*, ۳۲, ۳۱۴-۳۲۰.
۱۱. Pratiwi, D. S., Teguh, M., & Pawirodikromo, W. (۲۰۱۹). An Implementation of the HAZUS Method for Estimating Potential Damage of Residential Houses at Pacitan Sub-district, East Java, Indonesia due to Earthquake. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. ۲۸۰, p. ۰۱۰۰۸). EDP Sciences.
۱۲. Vamvatsikos, D., & Cornell, C. A. (۲۰۰۴). Applied incremental dynamic analysis. *Earthquake spectra*, ۲۰(۲), ۵۲۳-۵۵۳.