

توسعه منحنی‌های شکنندگی قاب‌های دوگانه خمشی فولادی متوسط و دیواربرشی بتنی با خروج از مرکزیت سختی و مقاومت

منصور باقری *

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی بیرجند.

امین وداد

کارشناس ارشد مهندسی سازه، مؤسسه آموزش عالی بعثت کرمان.

سیدحسن حسینی

کارشناس ارشد مهندسی سازه، مؤسسه آموزش عالی هرمزان بیرجند.

چکیده

نحوه آرایش مراکز جرم، مقاومت و سختی، تأثیر زیادی در پایداری سازه و رفتار آن در مقابل زلزله دارد. در این مطالعه، سه مدل با تعداد طبقات ۶، ۹ و ۱۲ طبقه با سیستم دوگانه قاب خمشی فولادی متوسط و دیوار برشی بتنی در سه حالت منظم، نامنظم با خروج از مرکزیت سختی و با خروج از مرکزیت مقاومت، مدل‌سازی و منحنی‌های شکنندگی مربوط به سطوح عملکردی مختلف ترسیم شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که در سطح عملکرد استفاده‌ی بی‌وقفه بدلیل اینکه سازه هنوز در ناحیه خطی قرار دارد، احتمال فراگذشت از این سطح عملکرد در مدل نامنظم با خروج از مرکزیت سختی نسبت به سایر مدل‌ها بالاتر است. همچنین، احتمال فراگذشت از سطح عملکرد آستانه‌ی فروریزش در مدل نامنظم با خروج از مرکزیت مقاومت بدلیل اینکه سازه از حالت خطی خارج شده و وارد ناحیه غیرخطی و پلاستیک می‌گردد، نیز از سایر مدل‌ها بیشتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: قاب خمشی فولادی، دیوار برشی بتنی، خروج از مرکزیت سختی، خروج از مرکزیت مقاومت، تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی، منحنی شکنندگی.

* نویسنده مسئول: mnsrbagheri@birjandut.ac.ir

۱- مقدمه

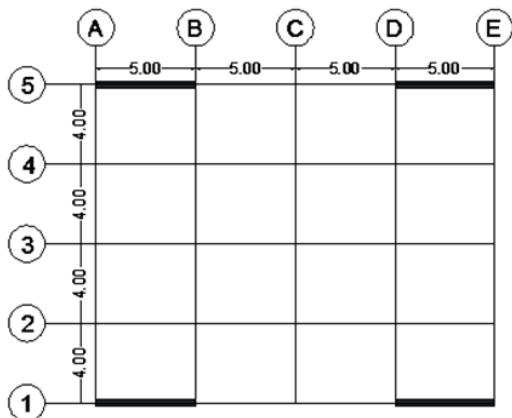
سازه با آرایش‌های متنوع سختی و مقاومت در سطوح مختلف زلزله پرداخته و خرابی‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای نظیر تغییر مکان نسبی طبقات و شکل‌پذیری مدل‌های سه بعدی تحت تأثیر شتاب نگاشت‌های تک مؤلفه‌ای و دو مؤلفه‌ای را محاسبه نمودند. قلیانی و همکاران [۶] در مطالعه‌ای، تأثیر نامنظمی بر روی منحنی-های IDA را بررسی کردند. در این مطالعه، سه قاب منظم و نامنظم در جرم و ارتفاع که با در نظر گرفتن ضوابط لرزه‌ای آیین-نامه ۲۸۰۰ ایران طراحی شدند، مورد بررسی قرار گرفتند. بررسی نتایج نشان داد که نامنظمی سبب ضعف در عملکرد سازه می‌گردد. طاهرپور و همکاران [۷]، قاب‌های خمشی فولادی متوسط ۴، ۸ و ۱۲ طبقه را که دارای نامنظمی ناشی از اختلاف تراز طبقات بودند را در نظر گرفته و با استفاده از نرم افزارهای غیرخطی، تحلیل‌های مختلف استاتیکی و دینامیکی را بر روی آنها انجام دادند. با مقایسه نتایج، مشخص شد که اثرات مودهای بالاتر در این گونه سازه‌ها مؤثر بوده و روش مودال اصلاح شده از دیگر روش‌ها عملکرد بهتری دارد.

در یک مطالعه دیگر، یک ساختمان بتن‌آرمه ۷ طبقه در منطقه تهران توسط وزیری [۸] بررسی و منحنی شکنندگی آن برای حالت متقارن و با چند حالت دارای خروج از مرکزیت تهیه شد و اثرات نامنظمی در شکل و نحوه تغییرات منحنی شکنندگی مورد تفسیر و ارزیابی قرار گرفت. گرامی و همکاران [۹] با مطالعه و بررسی روی منحنی‌های شکنندگی حاصل از عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی با دیوار برشی فولادی جدار نازک در حوزه نزدیک و دور از گسل در سازه‌های ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه به این نتیجه دست یافتند که سازه‌های میان مرتبه و بلند مرتبه عملکرد بهتر و سطح خرابی کمتری نسبت به سازه‌های کوتاه مرتبه در حوزه‌های نزدیک و دور از گسل دارند. رضوان و همکاران [۱۰]، اثر خروج از مرکزیت مقاومت را روی رفتار پیچشی ساختمان‌های بتن مسلح بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که پاسخ‌ها وابستگی زیادی به میزان خروج از مرکزیت مقاومت داشته و با نزدیک شدن مرکز جرم و مقاومت، تقاضای شکل‌پذیری به صورت یکنواخت در تیرهای بتنی به وجود می‌آید.

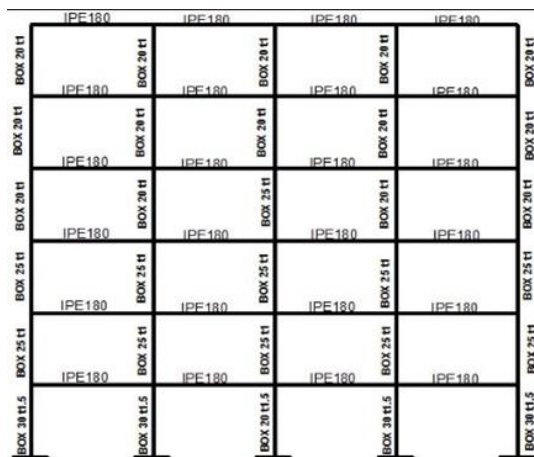
همچنین مطالعه‌ای پیرامون تأثیر خروج از مرکزیت‌های سختی و مقاومت روی پاسخ پیچشی غیرالاستیک ساختمان‌های متقارن و نامتقارن تحت اثر مؤلفه‌های متعامد زلزله توسط پیکازو و همکاران

نظر به این که به دلایل اجرایی و طرح‌های متنوع در معماری، هیچ سازه‌ای به طور کامل منظم نیست و دارای نوعی نامنظمی در پلان و ارتفاع است، شناخت و بررسی رفتار این گونه سازه‌ها در برابر زلزله ضروری می‌باشد. در آیین‌نامه‌های مختلف طراحی، برای ساختمان‌های منظم و نامنظم، بیشتر در محدوده الاستیک بحث شده است، در حالی که در هنگام زلزله و به ویژه برای ساختمان‌های نامنظم، سیستم‌های باربر جانبی وارد ناحیه غیرخطی می‌شود. بنابراین علاوه بر بحث خروج از مرکزیت سختی که برای ارزیابی ساختمان‌های منظم معیار مطلوبی قلمداد می‌گردد، خروج از مرکزیت مقاومت نیز برای ساختمان‌های نامنظم می‌بایست مورد توجه و بررسی قرار گیرد. مرکز سختی برای یک سازه‌ی چند طبقه با فرض رفتار الاستیک خطی عبارت از نقاطی در سطوح طبقات است که وقتی برآیند نیروهای جانبی حاصل از زلزله در آن نقاط فرض می‌شوند، چرخشی در هیچ یک از طبقات اتفاق نمی‌افتد. فاصله مرکز سختی تا مرکز جرم را خروج از مرکزیت سختی می‌نامند. همچنین مرکز مقاومت عبارت از محل برآیند نیروهای جانبی تسلیم سیستم‌های باربر جانبی می‌باشد که فاصله این مرکز تا مرکز جرم را خروج از مرکزیت مقاومت می‌نامند. اهمیت این مرکز از آن جهت است که در اثر وقوع زلزله، تمام یا برخی از سیستم‌های باربر جانبی وارد ناحیه غیرخطی می‌شوند و میزان خروج از مرکزیت مقاومت، روی پاسخ سازه‌ای تأثیر فراوانی دارد. ضوابط آیین‌نامه‌ها در مورد ساختمان‌های نامتقارن بیشتر براساس مطالعه روی ساختمان‌های تک طبقه در ناحیه الاستیک صورت گرفته و تنها خروج از مرکزیت سختی لحاظ گردیده است، در حالیکه به علت ورود ساختمان به ناحیه غیرخطی در زلزله‌های بزرگ، خروج از مرکزیت سختی به تنهایی نمی‌تواند معیار مطلوبی برای بررسی رفتار سازه باشد. در این زمینه مطالعات زیادی توسط افرادی مانند هجال و چوپرا [۱] و نیز تسو و دمپسی [۲ و ۳] انجام گرفت. گوئل و چوپرا [۴] مطالعه‌ای انجام دادند و به تخمین پارامترهای طلب لرزه‌ای در ساختمان‌های نامنظم در پلان پرداختند و دو مفهوم نیاز لرزه‌ای و ظرفیت را با ارائه مفهوم سازه یک درجه آزادی معادل، با یکدیگر مقایسه و حداکثر تغییر مکان انتهای سازه بر اثر زلزله مفروض با استفاده از شتاب نگاشت آن زلزله را تعیین نمودند. عظیمی نژاد و همکاران [۵] در پژوهشی به بررسی رفتار

دریافت طبقات براساس استاندارد ۲۸۰۰ انجام شده و همچنین نسبت تنش در تمام اعضای مدل‌های سازه‌ای کمتر از یک می‌باشد. برخی مشخصات مقاطع مدل ۶ طبقه در شکل ۲ آمده است. مدل سه بعدی در نظر گرفته شده برای این سازه از لحاظ سختی و مقاومت در هر دو جهت، کاملاً متقارن (Sym) بوده و برای مقایسه با سایر مدل‌ها استفاده می‌شود.



شکل ۱ - پلان مدل متقارن



شکل ۲ - مقاطع تیر و ستون مدل ۶ طبقه

مطابق بند ب ۱-۷-۱ آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، چنانچه حداکثر تغییر مکان نسبی در یک انتهای ساختمان در هر طبقه، با احتساب پیچش تصادفی و با منظور کردن $A_j=1$ ، بیش از ۲۰ درصد متوسط تغییر مکان نسبی در دو انتهای ساختمان در آن طبقه باشد، نامنظمی زیاد پیچشی اتفاق می‌افتد. در این مطالعه، برای بررسی پاسخ‌های سازه تحت اثر نامتقارنی در پلان با خروج از مرکزیت سختی (A-Ck)، در مدل‌سازی ساختمان‌های ۶، ۹ و ۱۲ طبقه در حالت متقارن (Sym) تغییری در ضخامت دیوار برشی در قاب محور ۵ از ۲۰ سانتیمتر به ۳۵ سانتیمتر ایجاد شد که منجر

[۱۱] صورت گرفت که در آن توابع قابلیت اعتماد لرزه‌ای تعیین و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین بدری و همکاران [۱۲] در مقاله‌ای به اثر پارامترهای متفاوت مدل چرخه‌ای قابل زوال روی پاسخ ساختمان‌های متقارن و نامتقارن براساس حداکثر نسبت تغییر مکان بین طبقه‌ای بعنوان پاسخ سازه پرداختند که نشان داد، اثر این پارامترها برای المان‌های با لبه انعطاف‌پذیر و لبه سخت در سطوح بالای شدت زلزله قابل ملاحظه است. یک مطالعه فراگیر نیز روی اثر خروج از مرکزیت‌های سختی و مقاومت در سازه‌های نامتقارن در پلان توسط رشیدی و همکاران [۱۳] انجام گرفت.

در این مطالعه به بررسی رفتار سیستم سازه دو گانه قاب خمشی فولادی متوسط با دیوار برشی بتنی در سه حالت منظم در پلان و نامنظم با خروج از مرکزیت سختی و خروج از مرکزیت مقاومت پرداخته و رفتار و عملکرد سازه تحت رکوردهای مختلف را تحت تحلیل غیرخطی دینامیکی افزایشی قرار داده و سپس با استخراج نتایج مربوط به سطوح عملکردی قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه (IO) و آستانه‌ی فروریزش (CP) و ترسیم منحنی‌های شکنندگی، معیارهایی برای طراحی این سیستم ارائه شده است.

۲- مدل‌های مورد بررسی

در این مطالعه، سه ساختمان مسکونی فولادی با سیستم مقاوم جانبی دو گانه قاب خمشی فولادی متوسط و دیوار برشی بتنی متوسط با تعداد طبقات ۶، ۹ و ۱۲ طبقه با ارتفاع ۳/۲ متر و با چهار دهانه‌ی ۵ متری در راستای X و ۴ متری در راستای Y مطابق شکل ۱، واقع در منطقه با شدت لرزه‌خیزی زیاد با نسبت شتاب مبنای طرح ۰/۳ که دارای تقارن یا عدم تقارن در پلان به شکل خروج از مرکزیت سختی و مقاومت هستند، در نظر گرفته شده است. تمامی این مدل‌ها ابتدا در نرم افزار ETABS v9.7.4 براساس ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ ایران، طراحی و تحلیل و سپس در نرم‌افزار SeismoStruct v2016 تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی شده‌اند. فولاد مورد استفاده در این تحقیق براساس خصوصیات تعریف شده در نرم‌افزار مزبور، از نوع دوخطی بوده که به‌عنوان stl_bl شناخته و با سختی کرنشی سینماتیکی ۰/۰۰۵ می‌باشد که محدوده الاستیک در بارگذاری‌های مختلف ثابت می‌ماند.

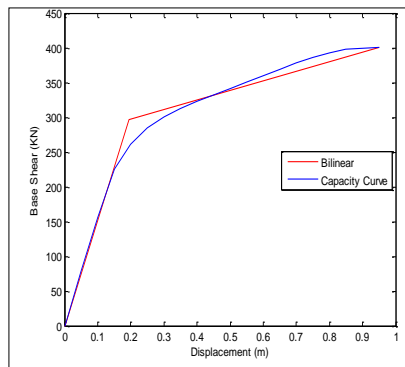
جهت طراحی مدل‌های این مطالعه، از ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان استفاده شده است. کنترل ضوابط لرزه‌ای مانند

به خروج از مرکزیت سختی در مدل متقارن گردیده است. میزان خروج از مرکزیت سختی مدل ۶ طبقه در جدول ۱ و موقعیت مرکز سختی (K-Center) در شکل ۳ نمایش داده شده است. در این حالت، خروج از مرکزیت مقاومت سازه، صفر باقی می ماند. لازم به ذکر است که نسبت حداکثر به میانگین درینفت به بیش از ۱/۲ یعنی حالت سازه نامنظم رسیده است.

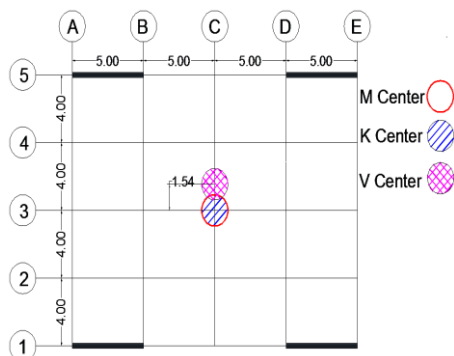
جدول ۱ - میزان خروج از مرکزیت سختی مدل ۶ طبقه

مدل	طبقه	حالت بار	حداکثر تغییر مکان نسبی طبقه	متوسط تغییر مکان نسبی طبقه	نسبت حداکثر به میانگین درینفت
۶ طبقه	۱ طبقه	EXN	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۸	۱/۲۵
۹ طبقه	۳ طبقه	EXN	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲۵	۱/۲
۱۲ طبقه	۵ طبقه	EXN	۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۴۸	۱/۲۲

شده است. جزئیات این زلزله‌ها از جدول FEMA-440 [۱۵] استخراج شده و در جدول ۳ آمده است.

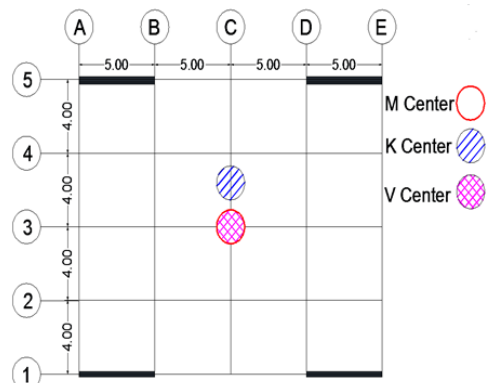


شکل ۴ - منحنی دو خطی ظرفیت



شکل ۵ - موقعیت مرکز مقاومت مدل ۶ طبقه A-Cv

برای محاسبه محل مرکز مقاومت مدل‌های مختلف، با انجام تحلیل پوش آور به‌هنگام شونده براساس تغییر مکان، نیروی جانبی تسلیم هر قاب محاسبه شده تا منحنی ظرفیت بدست آید. سپس فاصله محل برآیند آن تا مرکز جرم به‌عنوان خروج از مرکزیت مقاومت معرفی می‌شود. با استفاده از دستورالعمل بهسازی ساختمان FEMA-365 [۱۴]، منحنی ظرفیت مطابق شکل ۴، بصورت دوخطی شده و مقدار نیروی جانبی تسلیم بدست آمده است. سپس مطابق رابطه ۱، مقدار خروج از مرکزیت مقاومت حاصل می‌گردد که مقادیر آن برای مدل ۶ طبقه در جدول ۲ و همچنین موقعیت مرکز مقاومت (V-Center) در شکل ۵ آمده است.



شکل ۳ - موقعیت مرکز سختی مدل ۶ طبقه A-Ck

۳- استخراج نقاط عملکردی از منحنی‌های تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی

تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی، شامل تعداد زیادی تحلیل دینامیکی غیرخطی تحت اثر شتابنگاشت‌های زلزله است و این شتاب نگاشت‌ها به گونه‌ای مقیاس شده‌اند که بتوانند محدوده رفتار

$$C_{vy} = \frac{\sum_{i=1}^5 V_{yi} Y_i}{\sum_{i=1}^5 V_{yi}} \quad (1)$$

که در آن، Y_i فاصله هر قاب از مبدأ و V_{yi} ، نیروی جانبی تسلیم هر قاب می‌باشد. به منظور انجام تحلیل‌های IDA، از ۷ شتابنگاشت زلزله‌های دور از گسل متناسب با خاک نوع D استفاده

خطی، غیرخطی و در نهایت فروریزش سازه را تحت پوشش قرار دهند. هدف اصلی این تحلیل بدست آوردن پاسخ‌های سازه برای منحنی‌های IDA ارائه می‌گردد.

جدول ۲ - مقدار خروج از مرکزیت مقاومت مدل ۶ طبقه

شماره قاب	Vy (KN)	Y (m)	مقدار خروج از مرکزیت (متر)
قاب ۱	۵۳۸/۸۶۴۵	صفر	
قاب ۲	۱۴۲/۴۸۶۳	۴	۱/۵۴
قاب ۳	۱۴۲/۴۸۶۳	۸	
قاب ۴	۱۴۲/۴۸۶۳	۱۲	
قاب ۵	۸۹۹/۰۶۹۸	۱۶	

جدول ۳ - شتاب نگاشت‌های مورد استفاده مطابق FEMA-440

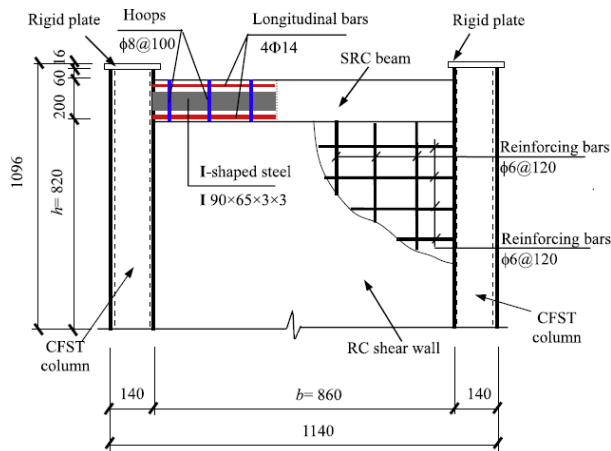
ردیف	شتاب نگاشت	ایستگاه زلزله	بزرگا (ریشتر)	حداکثر شتاب (cm/s ²)
۱	1979 Imperial Valley	Calexico	۶/۸	۲۹۶/۶
۲	Loma Prieta 1989	Gilroy 2	۷/۱	۳۹۴/۲
۳	Northridge 1994	Westmorland	۶/۸	۳۹۳/۳
۴	Whittier Narrows 1987	Downey, County Maintenance Bldg.	۶/۱	۱۹۳/۲
۵	Northridge 1994	Hollywood Storage Bldg.	۶/۸	۳۸۱/۴
۶	San Fernando 1971	Vernon	۶/۵	۱۰۴/۶
۷	Northridge 1994	Santa Monica City Hall	۶/۸	۸۶۶/۲

شدت رکوردهای اعمالی بر سازه که در طول تحلیل‌ها اضافه می‌گردد، با پارامتر IM و خروجی تحلیل‌ها، که پاسخ سازه به رکورد است، با پارامتر DM نمایش داده می‌شود. منحنی‌های IDA در واقع ترسیم رابطه بین پاسخ سازه نسبت به تغییر شدت رکوردها است. تحلیل‌ها با افزایش سطوح شدت با گام‌های مساوی تازمانی که همگرایی حاصل گردد، یعنی نشانه‌ای از ناپایداری دینامیکی کلی، ادامه می‌یابد. با ترسیم منحنی‌های IDA برحسب پارامترهای شدت شتاب طیفی و حداکثر شتاب زلزله PGA و مقایسه آن‌ها، ملاحظه می‌گردد که انتخاب $S_a(T_1, 5\%)$ نسبت به PGA از پراکندگی کمتری برخوردار می‌باشد. و امواتسیکوس و همکاران [۱۶]. در این مقاله، از مقدار شتاب طیفی مود اول با میرایی ۵ درصد $S_a(T_1, 5\%)$ جهت تعریف پارامتر شدت و از حداکثر تغییر مکان بین طبقه‌ای جهت پارامتر پاسخ سازه، استفاده شده است.

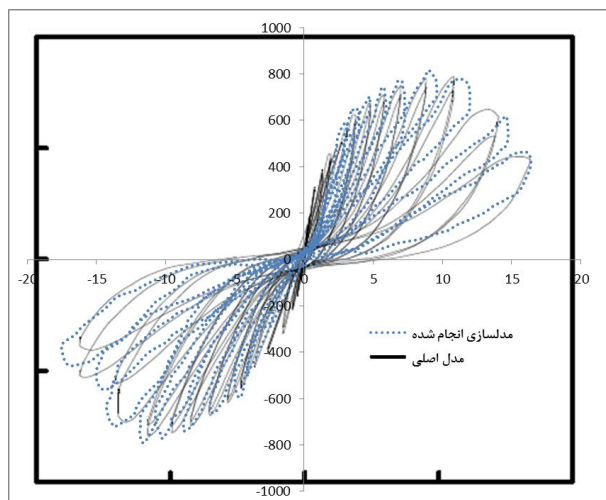
جدیدترین روش طراحی لرزه‌ای، روش طراحی براساس عملکرد می‌باشد که مطابق با آن، طراحی ساختمان‌ها بر پایه درک واقعی و قابل اطمینان عملکرد احتمالی ساختمان در زلزله‌های پیش‌بینی شده صورت می‌گیرد. از بررسی و تفسیر منحنی‌های IDA می‌توان نقاط عملکردی را استخراج نمود. عملکرد قابلیت استفاده‌ی بی-وقفه به سطح عملکردی اطلاق می‌شود که در آن می‌بایست اجزای سازه تغییر قابل توجهی پیدا نکنند و استفاده‌ی بی‌وقفه از آنها ممکن باشد و در منحنی‌های IDA محلی است که بیشترین تغییر مکان نسبی، معادل یک درصد می‌باشد. در این صورت، برآورد IM متناظر به حالت حدی فوق، بسیار ساده بوده و کوچکترین IM متناظر به $\theta_{max} = 1\%$ ، نقطه عملکردی مورد نظر تشخیص داده می‌شود. همچنین سطح عملکرد آستانه‌ی فروریزش به سطح عملکردی گفته می‌شود که پیش‌بینی می‌گردد در اثر وقوع زلزله، خرابی گسترده‌ای در سازه ایجاد شود اما ساختمان فرو نریزد و تلفات جانی به حداقل برسد. این سطح عملکرد متناظر به نقطه‌ای با IM کوچکتر که شیب آن ۲۰ درصد شیب بخش الاستیک و یا

نقطه‌ای که مقدار حداکثر تغییر مکان نسبی آن $\theta_{max}=10$ باشد، لحاظ می‌گردد [۱۷].

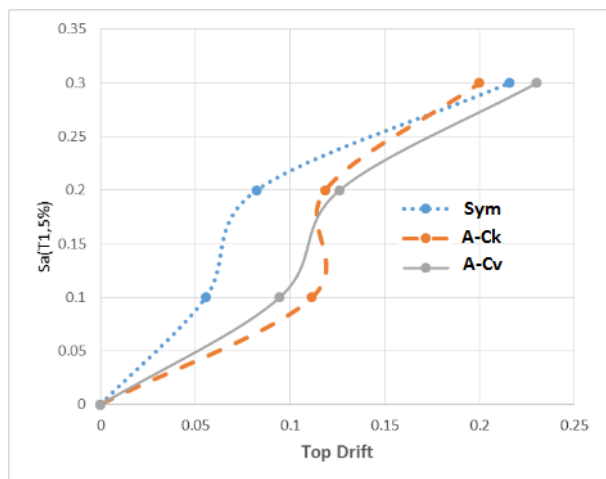
CP استخراج گردید که نتایج خروجی آن برای مدل ۱۲ طبقه و جدول شماره ۴ آمده است. همچنین منحنی IDA برای مدل ۱۲ طبقه در شکل ۹ نمایش داده شده است.



شکل ۷ - جزئیات ابعاد و میلگرد گذاری مدل [۱۸]



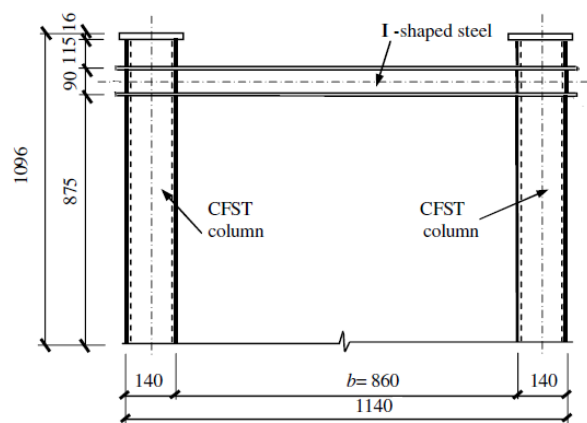
شکل ۸ - مقایسه دو منحنی چرخه‌ای انجام شده با سائزمو استراکت و مطالعه لیاثو و همکاران



شکل ۹ - منحنی IDA مدل ۱۲ طبقه

۴- صحت سنجی

به منظور کنترل صحت مراحل مدل‌سازی قاب خمشی فولادی با دیوار برشی بتنی در نرم افزار سائزمو استراکت، از مطالعه لیاثو و همکاران [۱۸] استفاده شده که در آن، چهار مدل آزمایشگاهی شامل ستون‌های دایره‌ای شکل فولادی پر شده از بتن و دیوار برشی بتنی تحت بار محوری و بار جانبی سیکلی قرار گرفته است. همچنین پارامترهای کنترل شده در مطالعه مزبور عبارت از میزان بار محوری در ستون‌های مرکب و نسبت ارتفاع به عرض دیوار برشی بتنی می‌باشد. قاب با دهانه محور به محور ۹۸۰ میلی‌متر و ارتفاع ۹۲۰ میلی‌متر مطابق با شکل ۶ است.



شکل ۶ - مدل قاب مطالعه لیاثو و همکاران [۱۸]

همچنین در شکل ۷ نیز جزئیات ابعاد، تعداد، نوع و فاصله میلگردهای استفاده شده در ستون‌ها، تیر و دیوار برشی مدل مزبور، نمایش داده شده است.

پس از مدل‌سازی، بارهای محوری و جانبی اعمال شده و تحلیل سازه برای مدل CFST-C-SI انجام گرفت و منحنی چرخه‌ای بدست آمده با منحنی مدل مطالعه شده مطابق شکل ۸ مقایسه شد که انطباق مناسبی بین منحنی مطالعه لیاثو و همکاران و نیز منحنی قاب مدل‌سازی شده در نرم افزار سائزمو استراکت را نشان می‌دهد.

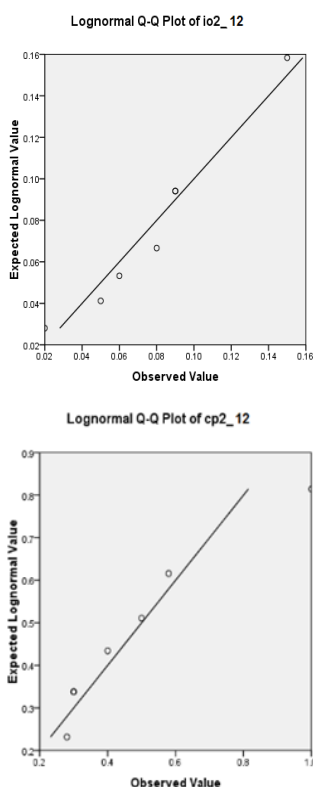
۵- منحنی‌های شکنندگی

در این مطالعه، پس از انجام تحلیل IDA روی مدل‌های موردنظر و ترسیم منحنی‌های مربوط، نقاط متناظر با سطوح عملکردی IO

جدول ۴- نتایج IDA مدل ۱۲ طبقه در سطح عملکردی IO و CP

A-Cv		A-Ck		Sym		شتاب‌نگاشت
CP	IO	CP	IO	CP	IO	
۰/۱۸	۰/۰۸	۰/۱	۰/۰۶۳	۰/۲	۰/۰۸۱	۱
۰/۲۳	۰/۰۷۵	۰/۳۷	۰/۰۵۵	۰/۷	۰/۱۱	۲
۰/۲۸	۰/۱۲	۰/۴۹	۰/۰۴۵	۰/۲۵	۰/۰۸	۳
۰/۲	۰/۱	۰/۱۸	۰/۰۶	۰/۵۴	۰/۱۵۴	۴
۰/۲۸	۰/۱۳	۰/۱	۰/۰۸	۰/۲	۰/۱	۵
۱	۰/۱۱	۰/۳۱	۰/۷۷	۰/۲۴	۰/۰۸	۶
۰/۲	۰/۰۷۵	۰/۵۹	۰/۰۵۱	۰/۳	۰/۱۳	۷

حسب نوع منظمی یا نامنظمی پلان در سه حالت منظم در پلان (Sym)، نامنظم در پلان با خروج از مرکزیت سختی (A-Ck) و نیز نامنظم در پلان با خروج از مرکزیت مقاومت (A-Cv)، جهت مقایسه در شکل‌های ۱۷ تا ۱۹ آمده است.



شکل ۱۰- نمودارهای Q-Q مدل ۱۲ طبقه

۶- بررسی و تفسیر نتایج

مطابق منحنی شکنندگی شکل ۱۱، احتمال فراگذشت مدل ۶ طبقه از سطح عملکرد IO که در این سطح، سازه در حالت الاستیک

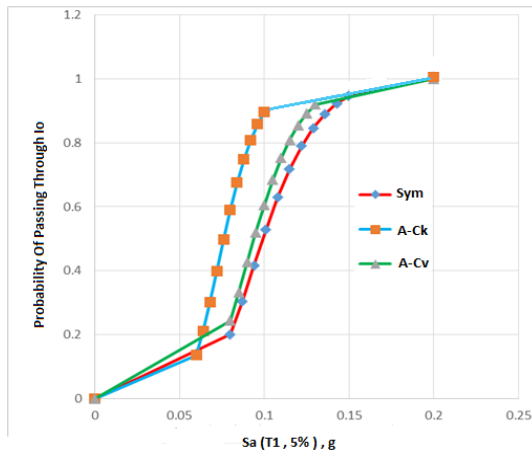
پس از استخراج مقادیر شتاب طیفی در پیوند اصلی سازه با میرایی ۵ درصد مربوط به هر یک از نقاط سطوح عملکردی و برای تهیه منحنی‌های شکنندگی، باید یک توزیع مناسب برای پارامترهای تقاضای مهندسی که از تحلیل IDA بدست آمده، در نظر گرفت. برای این کار معمولاً و در بیشتر موارد از توزیع لوگ نرمال استفاده می‌شود و با توجه به نمودارهای چارک-چارک (Q-Q) ترسیم شده از طریق نرم افزار آماری SPSS، می‌توان بر منطقی بودن فرض استفاده از این توزیع صحه گذاشت.

در توزیع لوگ نرمال، احتمال رخداد حالت خرابی مشخص Dsi در شتاب طیفی مشخص $S_a(T_1)$ از رابطه ۲، به دست می‌آید.

$$P(DS \geq Dsi | S_a(T_1)) = \Phi\left(\frac{\ln x - \lambda}{\beta}\right) \quad (2)$$

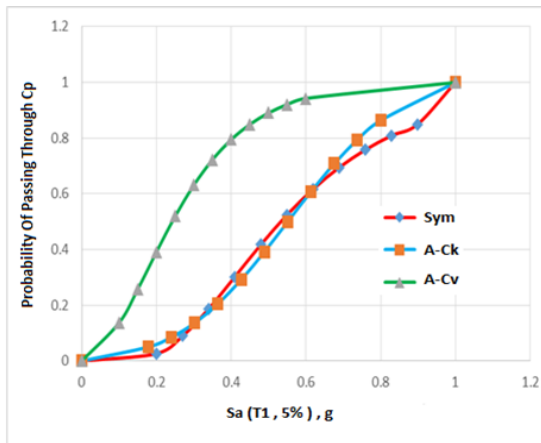
که در آن؛ x ، شتاب طیفی و λ و β ، به ترتیب میانگین و انحراف معیار $\ln(x)$ می‌باشد. منحنی‌های Q-Q برای مدل ۱۲ طبقه سطوح عملکردی IO و CP در شکل ۱۰ نمایش داده شده است. با ترسیم نمودارهای Q-Q مربوط به سطوح عملکردی مدل‌های مختلف و قرار گرفتن داده‌های استخراج شده در مجاورت خط مایل مشخص می‌گردد که داده‌های استخراج شده از پراکنندگی مناسبی برخوردار می‌باشند.

در ادامه، منحنی‌های شکنندگی با استفاده از تابع توزیع لوگ نرمال برای تمامی مدل‌ها با استفاده از نرم افزار MATLAB، ترسیم شده‌اند. منحنی‌های شکنندگی به تفکیک تعداد طبقات در سطوح عملکردی IO و CP، در شکل‌های ۱۱ تا ۱۶ و همچنین منحنی‌های شکنندگی مدل‌های ۶، ۹ و ۱۲ طبقه در سطح عملکرد CP بر



شکل ۱۳- منحنی شکنندگی مدل ۱۲ طبقه سطح IO

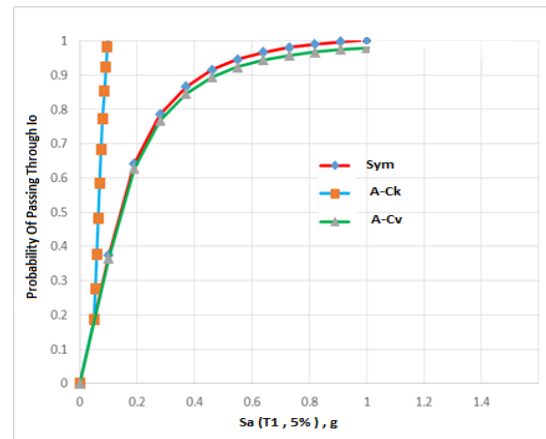
با بررسی شکل ۱۴ برای مدل ۶ طبقه، احتمال خرابی سازه در سطح عملکرد CP بدلیل وارد شدن سازه به ناحیه غیرخطی و پلاستیک، در حالت A-Cv بیشتر از حالت‌های Sym و A-Ck است. با بررسی منحنی‌های شکنندگی این شکل و برای یک شتاب طیفی ثابت ۰/۵g، احتمال فراگذشت از سطح عملکرد CP در حالت A-Cv تقریباً برابر با ۹۰ درصد بوده در حالیکه در همین شتاب طیفی و برای حالت‌های Sym و A-Ck برابر با ۴۰ درصد بوده و احتمال فراگذشت از سطح عملکرد مزبور، کمتر می‌باشد.



شکل ۱۴- منحنی شکنندگی مدل ۶ طبقه سطح CP

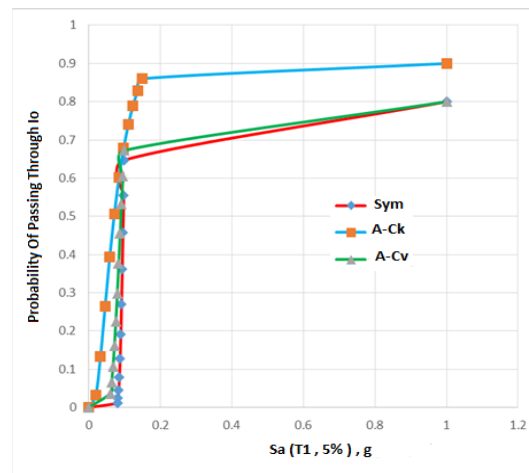
همچنین در مدل‌های ۹ و ۱۲ طبقه در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ نیز همین رفتار مشاهده می‌گردد. در شکل ۱۵، با در نظر رفتن شتاب طیفی ثابت ۰/۵g، خرابی مدل ۹ طبقه در حالت A-Cv با احتمال ۹۰ درصد می‌باشد در حالیکه در همین شتاب طیفی و برای حالت‌های Sym و A-Ck برابر است با حدود ۷۰ درصد. لذا مشخص می‌گردد که احتمال خرابی در حالت با خروج از مرکزیت مقاومت از دو حالت دیگر بیشتر بوده است.

بوده و بصورت خطی عمل می‌کند، برای حالت A-Ck بیشتر از دو حالت Sym و A-Cv بوده و در حالت الاستیک نسبت به حالت‌های دیگر بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد. حالت‌های Sym و A-Cv نیز در این سطح، تقریباً عملکرد مشابهی دارند. براساس منحنی شکنندگی مزبور، حالت A-Ck در شتاب طیفی حدود ۰/۱g از سطح عملکرد IO فراتر می‌رود و این مورد برای دو حالت دیگر در شتاب طیفی ۱g اتفاق می‌افتد.



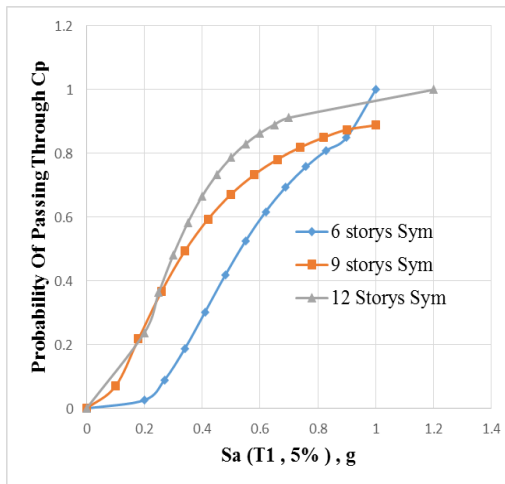
شکل ۱۱- منحنی شکنندگی مدل ۶ طبقه سطح IO

همچنین منحنی‌های شکنندگی ترسیم شده در شکل‌های ۱۲ و ۱۳، در سطح عملکرد IO، برای مدل‌های ۹ و ۱۲ طبقه نیز بیانگر رفتار مشابهی با مدل ۶ طبقه در حالت‌های مختلف بوده و احتمال فراگذشت از این سطح در حالت A-Ck بیشتر از دو حالت دیگر است. مطابق نمودار شکل ۱۲، احتمال فراگذشت از سطح عملکرد IO، برای حالت A-Ck در شتاب ۰/۲g حدود ۹۰ درصد و برای حالت‌های A-Cv و Sym در همان شتاب، نزدیک ۷۰ درصد می‌باشد و لذا احتمال فراگذشت آن کمتر است.



شکل ۱۲- منحنی شکنندگی مدل ۹ طبقه سطح IO

مطابق شکل مذکور، مدل‌های ۹ و ۱۲ طبقه تا حدود $0.2g$ عملکرد نسبتاً مشابهی داشته و از آن نقطه به بعد، احتمال خروج از سطح CP مدل ۱۲ طبقه، بیشتر است. در یک شتاب طیفی ثابت $0.5g$ ، احتمال فراگذشت از سطح عملکرد CP در مدل ۹ و ۱۲ طبقه حالت متقارن، ۴۵، ۷۰ و ۸۰ درصد می‌باشد.

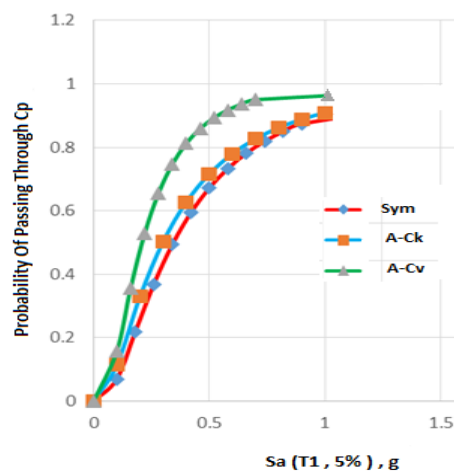


شکل ۱۷- منحنی شکنندگی مدل منظم سطح CP

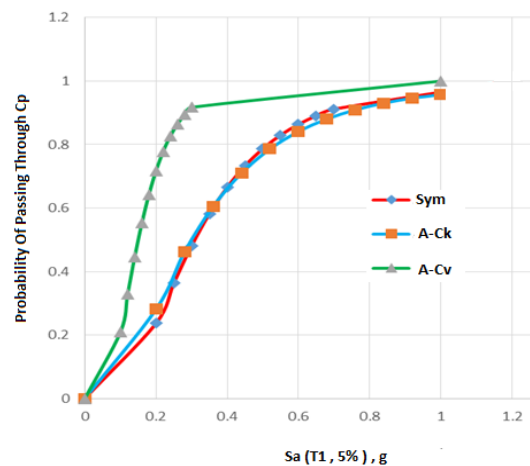
مطابق منحنی‌های شکنندگی شکل ۱۸ در حالت نامتقارن با خروج از مرکزیت سختی (A-Ck)، مشخص می‌گردد که طبقات بالاتر موجب ناپایداری و احتمال رسیدن به حالت CP بیشتری داشته است. هرچند تا رسیدن به شتاب طیفی $0.3g$ بطور تقریبی، عکس‌العمل یکسانی در مدل‌های ۹ و ۱۲ طبقه دیده می‌شود. در شتاب طیفی ثابت $0.5g$ ، احتمال فراگذشت از سطح عملکرد CP در مدل ۹ و ۱۲ طبقه حالت A-Ck، ۴۰، ۷۰ و ۷۵ درصد می‌باشد.

همچنین با بررسی منحنی شکنندگی نمایش داده شده در شکل ۱۹ که مدل‌های مختلف را در حالت نامتقارن با خروج از مرکزیت مقاومت (A-Cv) نمایش داده است، می‌توان بیان نمود که مدل ۶ و ۹ طبقه رفتار تقریباً مشابهی داشته و احتمال فراگذشت از سطح عملکرد CP در مدل ۱۲ طبقه، بطور واضحی بالاتر می‌باشد. بدین ترتیب و در شتاب طیفی $0.5g$ ، احتمال برون رفت از سطح عملکرد مزبور در مدل‌های ۶ و ۹ طبقه برابر با ۸۵ درصد و برای مدل ۱۲ طبقه برابر با ۹۵ درصد است. این در حالی است که در شتاب طیفی کمتری مثلاً $0.2g$ ، نیز احتمال خرابی از سطح CP در ۱۲ طبقه برابر با ۷۵ درصد و برای مدل‌های ۶ و ۹ طبقه بترتیب حدود ۳۵ و ۴۵ درصد می‌باشد.

همچنین براساس منحنی‌های شکنندگی ترسیم شده در شکل ۱۶ در سطح عملکرد CP برای مدل ۱۲ طبقه، می‌توان به این نتیجه رسید که احتمال خرابی در شتاب طیفی ثابت $0.5g$ در حالت نامتقارن با خروج از مرکزیت مقاومت نسبت به حالت متقارن و حالت با خروج از مرکزیت سختی، بیشتر و بترتیب برابر با ۹۵ و ۷۵ درصد است. بنابراین مطابق شکل‌های ۱۴ تا ۱۶ بصورت کلی مشخص می‌شود که مدل‌های ۹، ۶ و ۱۲ طبقه در حالت A-Cv که بحرانی‌تر است، به ترتیب در شتاب طیفی $0.5g$ ، $0.3g$ و $0.5g$ دارای احتمال خروج از سطح عملکرد آستانه‌ی فروریزش ۹۰ درصدی می‌باشند.



شکل ۱۵- منحنی شکنندگی مدل ۹ طبقه سطح CP



شکل ۱۶- منحنی شکنندگی مدل ۱۲ طبقه سطح CP

از مقایسه منحنی‌های شکنندگی حالت متقارن (Sym) مدل‌های ۹، ۶ و ۱۲ طبقه در شکل ۱۷، نتیجه می‌شود که طبقات بیشتر، منجر به بحرانی‌تر شدن وضعیت در سطح عملکرد آستانه‌ی فروریزش شده و در شتاب طیفی کمتری، سازه دچار فروریزش می‌گردد.

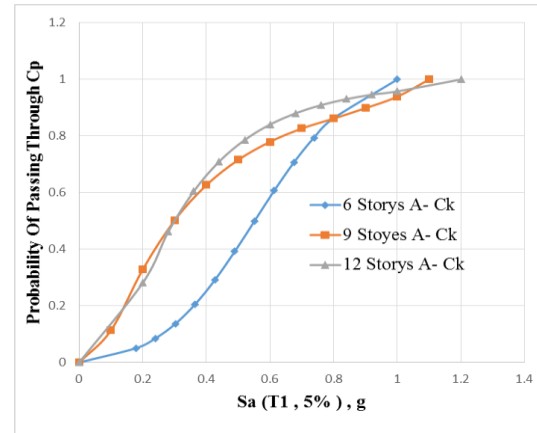
در سازه با نامنظمی سختی بیشتر از سازه منظم و سازه نامنظم مقاومت می‌باشد. بنابراین هر چه میزان خروج از مرکزیت سختی سازه بیشتر باشد، احتمال فراگذشت از این سطح عملکردی بیشتر خواهد بود. لذا در این سطح عملکرد، توجه به چیدمان عناصر باربر جانبی و موقعیت مرکز سختی نسبت به مرکز جرم حائز اهمیت بیشتری است.

همچنین در سطح عملکرد آستانه‌ی فروریزش، بدلیل اینکه سازه از حالت خطی خارج شده و وارد ناحیه غیرخطی و پلاستیک می‌گردد، مشاهده می‌شود که احتمال فراگذشت سازه از سطح عملکرد آستانه‌ی فروریزش، در سازه با نامنظمی مقاومت بیشتر از دو حالت دیگر بوده و لذا هر چه سازه خروج از مرکزیت مقاومت بیشتری داشته باشد، احتمال خرابی آن، بیشتر می‌باشد. بنابراین در این سطح عملکرد، باید توجه ویژه‌ای به مرکز مقاومت و تسلیم المان‌های باربر لرزه‌ای داشت تا خروج از مرکزیت مقاومت به حداقل برسد.

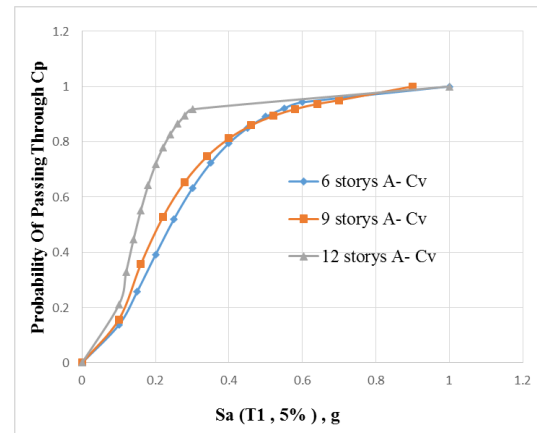
همچنین با بررسی منحنی شکنندگی مدل‌های ۶، ۹ و ۱۲ طبقه در سطح عملکرد آستانه‌ی فروریزش مشخص شد که حالت‌های منظم و نامنظم با خروج از مرکزیت سختی ۶ طبقه (مدل کوتاه مرتبه) عملکرد مناسب‌تری نسبت به مدل‌های متوسط و بلند دارد. در حالت‌های با خروج از مرکزیت مقاومت، احتمال فراگذشت از سطح عملکرد آستانه‌ی فروریزش، در مدل ۱۲ طبقه بصورت مشخصی از سایر مدل‌های دارای این نامنظمی، بیشتر است.

۸- مراجع

- [1] Hejal, R, Chopra, A.K , "Earthquake analysis of a class of 1. torsionally-coupled buildings", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 18(3): p. 305-323, (1989).
- [2] Tso, W, Dempsey, K, "seismic torsional provisions for dynamic eccentricity", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 8(3): p. 275-289, (1980).
- [3] Dempsey, K, Tso, W, "An alternative path to seismic torsional provisions", *International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 1(1): p. 3-10, (1982).
- [4] Goel, R.K, Chopra, A.K, "Inelastic seismic response of one-story, asymmetric-plan systems", *Earthquake Engineering Research Center, University of California*, (1990).



شکل ۱۸- منحنی شکنندگی مدل نامنظم سختی سطح CP



شکل ۱۹- منحنی شکنندگی مدل نامنظم مقاومت سطح CP

۷- نتیجه گیری

در این مطالعه، سه ساختمان مسکونی فولادی با سیستم مقاوم جانبی دوگانه قاب خمشی فولادی متوسط و دیوار برشی بتنی متوسط با تعداد طبقات ۶، ۹ و ۱۲ طبقه با پلان منظم، نامنظم با خروج از مرکزیت سختی و نامنظم با خروج از مرکزیت مقاومت مدل شده و تحت ۷ شتابنگاشت زلزله منطبق بر خاک نوع D و مقیاس شده با شتاب طیفی در پیوند اصلی سازه با میرایی ۵ درصد قرار گرفتند. سپس منحنی‌های IDA برای هر کدام از مدل‌های مزبور ترسیم و نقاط عملکردی قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه و آستانه‌ی فروریزش استخراج گردید. سپس با استفاده از توزیع احتمالاتی لوگ نرمال، منحنی‌های شکنندگی حاصل شد. با بررسی منحنی‌های شکنندگی برای سطح عملکردی موردنظر و مقایسه آن‌ها نتایج حاصل گردید.

در سطح عملکرد قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه، بدلیل اینکه سازه هنوز در ناحیه خطی قرار دارد، مشاهده می‌شود که احتمال خرابی جزئی،

- [15] FEMA. IMPROVEMENT OF NONLINEAR STATIC SEISMIC ANALYSIS PROCEDURES. FEMA 440. Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- [16] Vamvatsikos, D, Cornell, C.A, "Incremental dynamic analysis. earthquake engineering & structural dynamics", 31(3): p. 491-514, (2002).
- [17] Vamvatsikos, D, Jalayer, F, Cornell, C.A, "Application of incremental dynamic analysis to an RC structure", International Journal of Earthquake Engineering And Structural Dynamics, (2003).
- [18] Liao, F.Y, Han, L.H, Tao, Z, "Seismic behavior of circular CFST columns and RC shear wall mixed structures: Experiments", Journal of Constructional Steel Research 65 1582_1596, (2009).
- [5] Aziminejad, A, Moghadam, A.S, "Performance of asymmetric multistory shear buildings with different strength distributions", Journal of Applied Sciences, 9(6): 1082-1089, (2009).
- [6] قلیانی، محمدرضا؛ پیمان ترکزاده و سعید شجاعی، "تأثیر بی-نظمی در تحلیل دینامیکی فزاینده"، دومین کنفرانس ملی سازه، زلزله و ژئوتکنیک، بابلسر، مؤسسه آموزش عالی پردیسان، (۱۳۹۱).
- [7] طاهر پور، حمیدرضا و مصطفی سبزواری، "ارزیابی روش‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی برای قاب‌های خمشی فولادی نامنظم در تراز طبقات"، سومین کنگره علمی پژوهشی افق‌های نوین در حوزه مهندسی عمران، معماری، فرهنگ و مدیریت شهری ایران، تهران، انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین، (۱۳۹۵).
- [8] وزیر، حمیدرضا، "اثرات نامنظمی سازه در برآورد منحنی شکنندگی"، سیزدهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران سراسر کشور، کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، (۱۳۸۵).
- [9] گرامی، محسن؛ غفاری، سعید و امیرمهدی حیدری تفرشی، "ارزیابی آسیب پذیری سازه‌های فولادی با دیوار برشی جدار نازک بر اساس توسعه منحنی‌های شکنندگی"، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، انجمن مهندسی سازه ایران، سال سوم، شماره ۴، (۱۳۹۵).
- [10] Rizwan, S.M, Singh, Y, "Effect of strength eccentricity on torsional behavior of RC frame buildings", J. Inst. Eng. India Ser, A, 93(1), pp.15-26, (2012).
- [11] Picazo, A, Lopez, O.D and Esteva, L, "Seismic reliability analysis of building with torsional eccentricities", Earthquake Engineering & Structural Dynamic, 44(8):1219-1234, (2014).
- [12] Badri, R.K, Moghadam, A.S and Nekooei, M, "The influence of deterioration parameters on the response of low-rise symmetric and asymmetric RC buildings", Int. J. Civ.Eng, 14(6), pp.547-560, (2014).
- [13] Rashidi, A, Majid, T.A, Fadzli, M.N, Faisal, A and Noor, S.M, "A comprehensive study on the influence of strength and stiffness eccentricities to the on-plan rotation of asymmetric structure", International Conference in Civil Engineering, August, Penang, Malaysia (2017).
- [14] FEMA. PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS. FEMA 365. Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.

Development of Fragility Curves of Dual Steel Moment Frames coupled with Concrete Shear Walls with stiffness and resistance eccentricity

Mansour Bagheri *

Department of Civil Engineering, Birjand University of Technology, Birjand, Iran.

Seyyed Hasan Hosseini

MSc of Civil Engineering, Hormozan Institute of Higher Education, Birjand, Iran.

Amin vedad

MSc of Civil Engineering, Besat Institute of Higher Education, Kerman, Iran.

Abstract

The arrangement of the centers of mass, resistance and stiffness has a great influence on the stability of the structure and its behavior against the moderate and strong earthquakes. In this study, three structural models with 6, 9 and 12 stories with dual bending system of intermediate steel frame coupled with concrete shear walls in three types of regular, irregular with stiffness and resistance eccentricity has been modeled using finite element software and fragility curves are depicted for different structural performance levels. Survey results showed that at immediate occupancy (IO) performance level the structure is still in the linear region and the probability of exceeding from collapse prevention (CP) performance level in the stiffness eccentricity model is higher compared to other models. Also, the probability of exceeding from the CP performance level in the resistance eccentricity model is higher than the other models because the structure arrives at the plastic region.

Keywords: steel moment frame, concrete shear wall, stiffness eccentricity, resistance eccentricity, fragility curves.

* Corresponding Author: mnsrbagheri@birjandut.ac.ir