

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای قاب‌های خمشی بتن مسلح نامنظم دارای پس‌رفتگی در ارتفاع، طراحی شده بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران

علیرضاحی^۱، کیوان اسدی^۲

۱- استادیار گروه عمران، دانشگاه کردستان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه کردستان

keivan.asadi@uok.ac.ir

خلاصه

یک نوع خاص نامنظمی در سازه، پس‌رفتگی^۱ در ارتفاع آن می‌باشد که تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد لرزه‌ای سازه دارد. در این تحقیق چندین نوع قاب بتنی خمشی با الگوی پس‌رفتگی متفاوت، بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان طراحی شده و پس از تحلیل دینامیکی غیرخطی با نرم افزار IDARC، پاسخهای غیرخطی آنها شامل تغییر شکل نسبی طبقات و چرخش‌های پلاستیک المانها محاسبه و ارزیابی می‌شوند. جهت بررسی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها، از ضوابط آیین‌نامه‌ی FEMA356 استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که با ایجاد پس‌رفتگی در ارتفاع، سطح عملکرد قاب‌ها از سطح ایمنی جانی تجاوز می‌نماید اما در هر حال، با آستانه فرو ریزش فاصله زیادی دارد. همچنین نشان داده می‌شود که اعضای که در محل وقوع نامنظمی قرار دارند، بیشترین خسارت را تجربه کرده و برای اینکه عملکرد آنها در سطح ایمنی جانی باقی بماند باید به شیوه مناسبی تقویت شوند.

کلمات کلیدی: آیین‌نامه ۲۸۰۰، عملکرد لرزه‌ای، نامنظمی، پس‌رفتگی در ارتفاع، تحلیل غیر خطی

۱. مقدمه

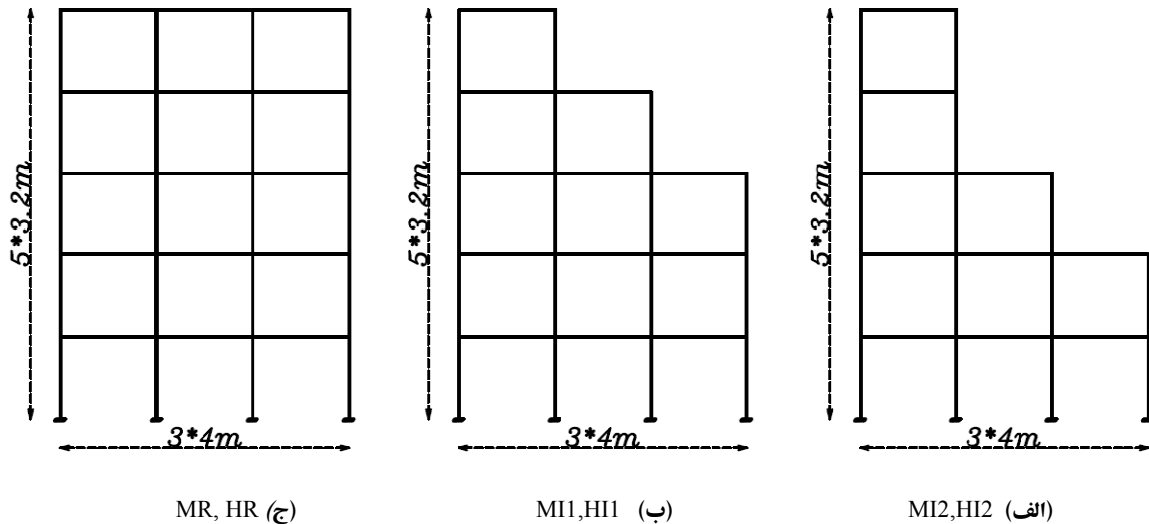
امروزه به علت افزایش استفاده از انواع نامنظمی در سازه‌ها که ناشی از ملاحظات معماری و نوع خاص کاربری سازه می‌باشد، آیین‌نامه‌های لرزه‌ای کشورهای مختلف، همواره در حال ارزیابی و بازنگری ضوابط مربوط به سازه‌های نامنظم می‌باشند. انواع نامنظمی‌ها همواره در سازه باعث ایجاد اثرات نامطلوب و اخلال در عملکرد سازه در هنگام وقوع زلزله می‌شوند. یک نوع خاص نامنظمی در سازه، پس‌رفتگی در ارتفاع آن می‌باشد که ممکن است نامنظمی از نوع سختی، جرم و یا مقاومت در ارتفاع را به طور جداگانه و یا توأمان در سازه ایجاد کند. از این رو این نوع نامنظمی در سازه، از سال ۱۹۶۵ مورد توجه محققین قرار گرفته است. از جمله این تحقیقات می‌توان به مطالعات پتزین و چوپرا در سال ۱۹۶۵، بلوم و جاوری در سال ۱۹۶۹، پکاو و گرین در سال ۱۹۷۴ اشاره کرد که بیشتر به مطالعات میدانی و بررسی عملکرد این نوع از سازه‌ها در زلزله‌های گذشته پرداختند [1]. هومر و رایت در سال ۱۹۷۷ پاسخ لرزه‌ای قاب‌های فلزی دارای پس‌رفتگی را مورد مطالعه قرار داده و از نکات قابل توجه در تحقیقات آنها نیاز بالای شکل‌پذیری در مجاورت محل پس‌رفتگی سازه بود [2]. آراند در سال ۱۹۸۴ مقایسه‌ای بین نیاز شکل‌پذیری قاب‌های دارای پس‌رفتگی و قاب‌های منظم در زلزله انجام داده و نیاز شکل‌پذیری بیشتر برای سازه‌های دارای پس‌رفتگی در ارتفاع را نسبت به سازه منظم مشاهده کرد [3]. شهرز و موهل در سال ۱۹۹۰ با انجام آزمایش بر روی یک ساختمان بتنی شش طبقه دارای پس‌رفتگی در وسط ارتفاع، ضمن بررسی آیین‌نامه UBC1988 برای این نوع سازه‌ها، یک روش طراحی استاتیکی خاص را برای سازه‌های بتن مسلح دارای پس‌رفتگی پیشنهاد کردند [4]. وود در سال ۱۹۹۲ بر روی سازه‌های بتن مسلح طراحی شده بر اساس ضوابط ویرایش جدید آیین‌نامه BOCA، آزمایشاتی انجام داده و بر پایه نتایج حاصل از آزمایشات ادعا کرد که رفتار لرزه‌ای قاب‌های دارای پس‌رفتگی و قاب‌های دارای هندسه یکنواخت طراحی شده بر اساس آیین‌نامه مذکور، متفاوت نمی‌باشد [5]. وانگ و تسو در سال ۱۹۹۴ بر روی پاسخ لرزه‌ای سازه‌های پس‌رفته، مطالعه‌ای انجام داده و مشاهده کردند که جرمهای مودی مودهای بالاتر، در این نوع از سازه‌ها، از سازه‌های منظم متناظر، بزرگتر می‌باشد [6]. رومو و همکاران در سال ۲۰۰۴ عملکرد لرزه‌ای قاب‌های بتن مسلح دارای پس‌رفتگی در ارتفاع را بررسی و با مقایسه سازه‌های

¹.Setback

منظم و نامنظم به ارزیابی آیین نامه پرتقال پرداختند [7]. تنا و کولونگا در سال ۲۰۰۴ آیین نامه لرزه‌ای مکزیک را با در نظر گرفتن چند نمونه از سازه‌های دارای پس‌رفتگی در ارتفاع، بررسی نموده و از نتایج مطالعات آنها، عدم کفایت الزامات آیین نامه مذکور برای این نوع از سازه‌ها بود [8]. آتاناسیادو در سال ۲۰۰۸ با در نظر گرفتن قاب‌های بتن مسلح خمشی با شکل‌پذیری متوسط و زیاد دارای پس‌رفتگی در ارتفاع، بر اساس ضوابط آیین نامه اروپا (Eurocode8)، مشاهده کرد که نسخه اخیر این آیین نامه توصیه‌های مناسبی برای طراحی این سازه‌ها دارد [9]. سرکارا و همکارانش در سال ۲۰۱۰ با بررسی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های دارای نامنظمی هندسی در ارتفاع، معیاری برای کمی کردن نامنظمی در اینگونه قاب‌ها ارائه نمودند [10]. عمادی و همکارانش در سال ۱۳۸۸، با استفاده از تحلیل بارافزون، ساختمانهای نامتقارن را مورد مطالعه قرارداد و نشان دادند که نیاز شکل‌پذیری در مجاورت پس‌رفتگی به طور قابل ملاحظه افزایش می‌یابد [11]. با توجه به مطالب فوق الذکر، به علت اهمیت بررسی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های نامنظم، آیین نامه‌های لرزه‌ای معتبر مختلف، همواره مورد بررسی مداوم بوده‌اند. لذا کفایت آیین نامه ساختمانهای مقاوم در برابر زلزله ایران نیز برای انواع نامنظمی باید بطور کامل ارزیابی گردد. با توجه به تحقیقات داخلی انجام شده، ارزیابی آیین نامه ۲۸۰۰ ایران برای قاب‌های خمشی بتنی مسلح دارای پس‌رفتگی در ارتفاع ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به اینکه هدف آیین نامه ۲۸۰۰، تامین سطح عملکرد ایمنی جانی در زلزله طرح می‌باشد. لذا در این تحقیق سعی می‌شود که بر روی چند قاب ۵ طبقه منظم و نامنظم با دو الگوی نامنظمی مختلف در ارتفاع قاب و با شکل‌پذیری متوسط و زیاد، که بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ و میحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران، برای زلزله طرح، طراحی شده‌اند، تحلیل دینامیکی غیرخطی انجام شده و با ارزیابی معیارهای پذیرش برای سطح عملکرد ایمنی جانی، به ارزیابی آیین نامه مذکور پرداخته شود.

۲. مدل‌سازی

قاب‌های مورد مطالعه در این تحقیق، ۶ قاب ۵ طبقه دو بعدی خمشی بتن مسلح با شکل‌پذیری متوسط و زیاد، با دو الگوی نامنظمی متفاوت، مطابق شکل ۱ می‌باشند. فرض می‌شود کلیه قاب‌ها در بستر سنگی (خاک تپ یک در آیین نامه ۲۸۰۰) قرار دارند. این سازه‌ها برای منطقه با خطرپذیری خیلی زیاد، طبق آیین نامه ۲۸۰۰ و میحث نهم مقررات ملی ساختمان، طراحی شده‌اند. ارتفاع طبقات ۳.۲ متر و طول دهانه قابها ۴ متر می‌باشد. برای نامگذاری قاب‌ها از حرف R برای قاب منظم و I برای قاب نامنظم، H برای شکل‌پذیری زیاد و M برای شکل‌پذیری متوسط، استفاده شده است و اعداد نشانه نوع نامنظمی می‌باشند.



شکل ۱- نمای قاب‌های مورد مطالعه و نامگذاری آنها

۳. معیار پذیرش

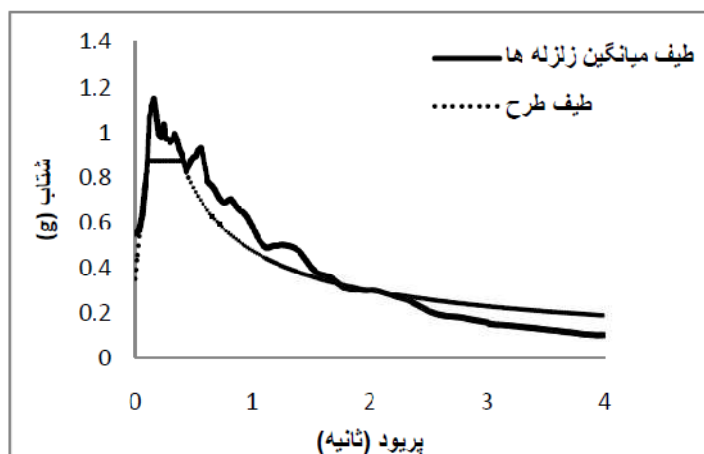
کلیه ساختمان‌هایی که بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ [12] طراحی شده‌اند، باید در سطح خطر یک (زلزله طرح)، سطح عملکرد ایمنی جانی را تأمین نمایند. لذا برای کنترل این موضوع از معیارهای پذیرش آیین‌نامه‌های معتبر لرزه‌ای همچون FEMA356 [13] استفاده می‌شود. حداکثر نسبت تغییر مکان جانبی نسبی برای سطح عملکرد ایمنی جانی، ۲ درصد، می‌باشد. برای کنترل چرخش پلاستیک اعضا نیز از معیارهای پذیرش FEMA 356 و یا دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای سازه‌های موجود ایران (نشریه ۳۶۰) [14]، استفاده می‌شود.

۴. روش تحلیل

در این تحقیق، از روش تحلیل دینامیکی غیرخطی که تقریباً می‌توان از آن به نام تحلیل دقیق نام برد، استفاده شده است. برای انجام این نوع تحلیل، لازم است که تعداد معینی شتاب‌نگاشت متناسب با مشخصات ژئوتکنیکی و شرایط خاک محل احداث پروژه انتخاب شود. همانطور که بیان گردید، فرض شده است که قاب‌های مدل شده، بر روی بستر سنگی (خاک نوع یک در آیین‌نامه ۲۸۰۰) قرار دارند. لذا ۷ رکورد زلزله از رکوردهای موجود و متناسب با بستر سنگی، انتخاب و مطابق با ضوابط آیین‌نامه ۲۸۰۰، به طوری مقیاس شده‌اند که طیف میانگین حاصل از آنها در بازه‌ی 0.2T و 1.5T، بالای طیف طرح آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ برای خاک تیپ یک، قرار داشته باشد. مشخصات مربوط به این رکوردها و طیف حاصل از آنها به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۲ نمایش داده شده‌اند.

جدول ۱- مشخصات کلی زلزله‌ها

شماره زلزله	نام زلزله	ایستگاه	مولفه (درجه)	ماکزیمم شتاب (g)
1	Imperial Valley	286	135	0.195
2	Landers	21081	90	0.146
3	Loma Prieta	58131	270	0.06
4	Loma Prieta	58151	90	0.09
5	Loma Prieta	58338	45	0.084
6	Northridge	23590	90	0.054
7	Northridge	90019	180	0.256



شکل ۲- طیف پاسخ میانگین زلزله‌ها و طیف طرح آیین‌نامه ۲۸۰۰

با توجه به پیچیدگی و زمان بر بودن تحلیل دینامیکی غیرخطی، احتیاج به نرم‌افزاری است که دارای سرعت پردازش بالا بوده و در عین حال، دارای دقت بالایی در مدل‌سازی رفتار غیرخطی اعضای بتن مسلح باشد؛ لذا از نرم افزار IDARC [15] استفاده گردید.

۵. انجام تحلیل دینامیکی غیر خطی

پس از انجام مدل‌سازی و طراحی مقاطع اعضای قاب‌ها، هر کدام از قاب‌ها در نرم‌افزار IDARC وارد شده و برای هر قاب، به تعداد شتابنگاشت‌های انتخابی، تحلیل دینامیکی غیرخطی انجام می‌شود. سپس طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰، نتایج حاصل از ۷ تحلیل برای هر قاب میانگین‌گیری شده و تغییر مکان جانبی نسبی طبقات و چرخش پلاستیک اعضای قاب‌ها محاسبه می‌شود.

تغییر مکان جانبی نسبی طبقات و نسبت تغییر مکان جانبی نسبی طبقات برای هر قاب، مطابق جدول ۲ می‌باشد. نمودار تغییرات تغییر مکان جانبی نسبی طبقات نیز در شکل ۳ ترسیم شده است.

جدول ۲- تغییر مکان جانبی نسبی و نسبت تغییر مکان نسبی قاب: (الف) HR، (ب) MR، (ج) HI1، (د) MI1، (و) HI2، (ه) MI2

story number	story drift (mm)	drift ratio (%)
5	68.91	2.15
4	43.58	1.36
3	26.01	0.81
2	23.67	0.74
1	14.53	0.45

ج

story number	story drift (mm)	drift ratio (%)
5	26.76	0.84
4	41.64	1.3
3	42.33	1.32
2	37.22	1.16
1	23.54	0.74

ب

story number	story drift (mm)	drift ratio (%)
5	23.61	0.74
4	35.18	1.1
3	41.01	1.28
2	37.62	1.18
1	29.57	0.92

الف

story number	story drift (mm)	drift ratio (%)
5	67.73	2.12
4	52.18	1.63
3	36.02	1.13
2	18.97	0.59
1	9.45	0.3

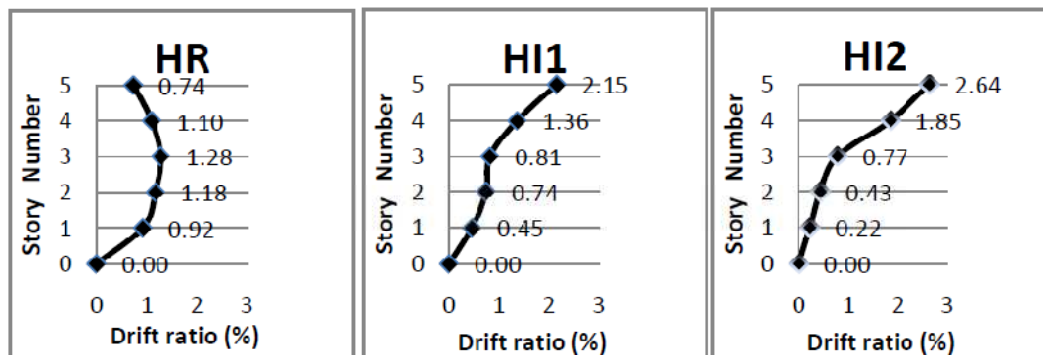
ه

story number	story drift (mm)	drift ratio (%)
5	84.45	2.64
4	59.09	1.85
3	24.65	0.77
2	13.85	0.43
1	7.1	0.22

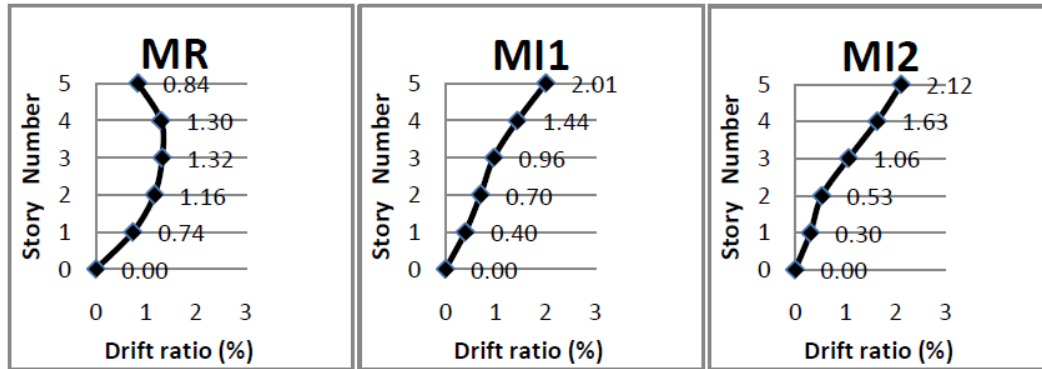
و

story number	story drift (mm)	drift ratio (%)
5	64.31	2.01
4	45.99	1.44
3	30.73	0.96
2	22.46	0.7
1	12.71	0.4

د



شکل ۳- الف - نسبت تغییر مکان جانبی نسبی طبقات قاب‌های با شکل پذیری زیاد



شکل ۳-ب- نسبت تغییر مکان جانبی نسبی طبقات قاب‌های با شکل پذیری متوسط

چرخش‌های پلاستیک انتهایی اعضا نیز با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی و میانگین‌گیری از نتایج برای هر قاب بدست می‌آید که به علت کثرت تعداد المانهای تیر و ستون و تعداد زیاد جداول حاصل از تحلیل، فقط برای نمونه نتایج بدست آمده برای قاب HR در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- چرخش‌های پلاستیک انتهایی اعضای قاب HR در مقایسه با مقادیر مجاز آنها

Beam Number	Plas.Rot. Left	Plas.Rot. Right	Life Safety Level
1	0.009	0.011	0.014
2	0.009	0.011	0.014
3	0.009	0.011	0.014
4	0.009	0.011	0.015
5	0.009	0.011	0.015
6	0.009	0.011	0.015
7	0.011	0.01	0.015
8	0.009	0.01	0.015
9	0.009	0.011	0.015
10	0.009	0.008	0.016
11	0.008	0.01	0.016
12	0.008	0.008	0.016
13	0.008	0.006	0.017
14	0.006	0.006	0.017
15	0.006	0.008	0.017

Column Number	Plas.Rot. Bottom	Plas.Rot. top	Life Safety Level
1	0.007	0.001	0.015
2	0.007	0.001	0.015
3	0.007	0.001	0.015
4	0.007	0.001	0.015
5	0.001	0.001	0.015
6	0.001	0.001	0.015
7	0.001	0.001	0.015
8	0.001	0.001	0.015
9	0.002	0.005	0.015
10	0.002	0.004	0.015
11	0.002	0.003	0.015
12	0.002	0.003	0.015
13	0.004	0.003	0.015
14	0.003	0.004	0.015
15	0.002	0.007	0.015
16	0.002	0.003	0.015
17	0.002	0.001	0.015
18	0.002	0.006	0.015
19	0.004	0.006	0.015
20	0.001	0.001	0.015

۶. بررسی عملکرد لرزه ای قابها

۱.۶. معیار تغییر مکان جانبی نسبی طبقات

با بررسی جدول ۲ و شکل ۳، مشهود است که نسبت تغییر مکان جانبی نسبی طبقات قاب‌های منظم با شکل پذیری متوسط و زیاد (MR و HR)، از مقدار ۲ درصد، کمتر می‌باشند که نشان دهنده تأمین سطح عملکرد ایمنی جانی در این قاب‌ها می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌شود در قابهای HI1 و MI1، تغییر مکان نسبی جانبی طبقه آخر از سطح عملکرد ایمنی جانی فراتر رفته، اما با حد آستانه فرو ریزش فاصله زیادی دارند. در قابهای HI2 و MI2،

تغییر مکان نسبی جانبی طبقه آخر از سطح عملکرد ایمنی جانی فراتر رفته است اما در قاب با شکل پذیری زیاد اختلاف با حد ۲ درصد، بیش از قاب با شکل پذیری متوسط می باشد.

۲.۶. معیار چرخش پلاستیک اعضای قابها

با بررسی نتایج چرخش پلاستیک قابها که از تحلیل دینامیکی غیرخطی بدست آمده است، مشاهده می شود که در قابهای منظم مورد مطالعه در این تحقیق (HR, MR)، معیار چرخش پلاستیک انتهای اعضا، برای سطح عملکرد ایمنی جانی تامین می گردد اما با ایجاد نامنظمی در قابها، مقدار چرخش پلاستیک انتهای اعضا افزایش یافته و از مرز سطح عملکرد ایمنی جانی فراتر می رود و این نکته نیز حائز اهمیت می باشد که با افزایش شدت نامنظمی در قابها تعداد اعضای از قاب که از این مرز فراتر می روند بیشتر می شود؛ بطوری که در قابهای دارای نامنظمی نوع اول (MI و HI)، میزان چرخش پلاستیک تمام تیرها و ستونهای طبقه آخر که نامنظمی در آن طبقه شدیدتر می شود از حد ایمنی جانی فراتر می روند؛ در حالی که در قابهای MI2 و HI2 چرخش پلاستیک تمام تیرها و ستونهای دو طبقه آخر از سطح ایمنی جانی فراتر می روند.

نکته قابل توجه دیگر این است که در تمام قابهای نامنظم، در تیرهای زیر طبقه ای که نامنظمی با شدت زیاد رخ می دهد، چرخش پلاستیک از حد ایمنی جانی فراتر می رود؛ این موضوع ضعف تیرهای مجاور نامنظمی و لزوم تقویت آنها را نشان می دهد.

اثر شکل پذیری بر روی تعداد اعضای از قاب که چرخش پلاستیک آنها، از سطح عملکرد ایمنی جانی فراتر می روند، قابل ملاحظه نیست؛ اما در قابهای نامنظم با شکل پذیری زیاد، بویژه در نامنظمی نوع دوم، در اعضای که چرخش پلاستیک از حد ایمنی جانی فراتر رفته است، میزان تجاوز از حد ایمنی جانی بیشتر از اعضای متناظر در قابهای نامنظم با شکل پذیری متوسط، می باشد.

۷. نتیجه گیری

در این تحقیق جهت ارزیابی عملکرد لرزه ای قابهای خمشی بتن مسلح دارای نامنظمی از نوع پس رفتگی که بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران طراحی شده اند، بر روی چند قاب ۵ طبقه منظم و نامنظم، با شکل پذیری متوسط و زیاد و با الگوی نامنظمی متفاوت، تحلیل دینامیکی غیرخطی انجام گردید و با در نظر گرفتن تغییر مکان جانبی نسبی طبقات و چرخش پلاستیک اعضای قابها به عنوان معیارهای کنترل عملکرد لرزه ای، به ارزیابی قابها پرداخته شد. پس از ارزیابی های لازم نتایج ذیل مشاهده گردید:

- قابهای منظم مورد مطالعه در این تحقیق که بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ و مبحث نهم مقررات ملی ایران طراحی شده اند، سطح عملکرد ایمنی جانی را با حاشیه امنیت مناسبی تأمین می کنند
- با ایجاد نامنظمی از نوع پس رفتگی در ارتفاع، سطح عملکرد قابها کاهش پیدا کرده و به سمت آستانه فروریزش میل می کند و نیز با افزایش شدت نامنظمی در قابها، میزان تمایل سطح عملکرد قاب به سمت آستانه فروریزش نیز افزایش می یابد؛ اما در هر حال عملکرد کلیه قابهای نامنظم مورد مطالعه از سطح عملکرد آستانه فروریزش فاصله زیادی دارد.
- در محل پس رفتگی و بویژه در طبقات انتهایی قابهای با شدت نامنظمی بیشینه، اعضای قاب خسارات گسترده ای را تجربه کرده و نیاز بالای شکل-پذیری در آنها مشاهده شد. بطوری که سطح عملکرد آنها از ایمنی جانی به سمت آستانه فروریزش، میل می کنند. لذا در اینگونه قابها باید تمهیدات ویژه ای برای تقویت اعضای در مجاورت پس رفتگی لحاظ گردد.



۸. مراجع

1. Shahrooz, B. M. And Moehle, J. P. (1987), "Experimental Study Of Seismic Response Of R.C. Setback Buildings.", Report No. UCB/EERC-87/16, Earthquake Engrg. Res. Ctr., Univ. Of California, Berkeley, Calif., Oct.
2. Humar, J.L. And Wright, E.W. (1977) , " Earthquake Response Of Steel-Framed Multistorey Buildings With Setbacks " , Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 5, No. 1, pp. 15-39.
3. Aranda, G.R. (1984) , "Ductility Demands For R/C Frames Irregular In Elevation", Proceedings Of The Eighth World Conference On Earthquake Engineering, San Francisco, U.S.A., Vol. 4, pp. 559-566.
4. Shahrooz, B.M. And Moehle, J.P. (1990) , "Seismic Response And Design Of Setback Buildings " , Journal Of Structural Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 5, pp.1423-1439.
5. Wood, S.L. (1992) , "Seismic Response Of R/C Frames With Irregular Profiles" , Journal Of Structural Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 2, pp. 545-566.
6. Wong, C.M. And Tso, W.K. (1994) , "Seismic Loading For Buildings With Setbacks", Canadian Journal Of Civil Engineering, Vol. 21, No. 5, pp. 863-871.
7. X. Romão, A. Costa , R. Delgado (2004) , " Seismic Behavior Of Reinforced Concrete Frames With Setbacks " , 13th World Conference On Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada ,Paper No. 2443.
8. Mario De Stefano And Barbara Pintucchi (2008) , "A Review Of Research On Seismic Behavior Of Irregular Building Structures Since 2002", Bull Earthquake Eng, 6:285-308
9. Athanassiadou, C.J. (2008) , "Seismic Performance Of R/C Plane Frames Irregular In Elevation Engineering Structures", 30 : 1250-1261ke Engrg., IV, San Francisco, Calif., 559-566
10. P. Sarkara, A. Prasad, D. Menon (2010) , " Vertical Geometric Irregularity In Stepped Building Frames " , Engineering Structures Vol 32 , 21752182.
۱۱. امین عمادی، حمزه شکیب، علی اکبر آفاکوچک، (۱۳۸۸)، " بررسی تحلیل بار افزون برای ساختمانهای نامتقارن در پلان و ارتفاع " ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۱۲. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، "آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰-۸۴ (ویرایش سوم) "
13. Federal Emergency Management Agency, FEMA356 (1997). Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Building. Building Seismic Safety Council, Washington D.
۱۴. دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود، نشریه شماره ۳۶۰ ، (۱۳۸۱) پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران.
15. R. E. Valles, A. M. Reinhorn, S. K. Kunnath, C. Li4, and A. Madan. (1996) IDARC version 4.0: a program for the inelastic damage analysis of reinforced concrete structures. Technical Report NCEER-96-0010, National Center For Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo.