

بررسی تاثیر خصوصیت جهت‌پذیری پیش رونده و جابه‌جایی ماندگار رکوردهای نزدیک گسل بر رفتار لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی بلند مرتبه با مهاربند برون محور و تعیین نقطه آستانه فروریزش

هادی پارسیان^۱، فرهاد دانشجو^{۲*}

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد عمران گرایش زلزله، دانشگاه تربیت مدرس

۲-استاد سازه، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

* danesh_fa@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۸/۲/۲۰]

تاریخ دریافت: [۹۷/۱۰/۱۹]

چکیده

اهداف اصلی این پژوهش شامل بدست آوردن نقطه آستانه فروریزش (CP) قاب‌های خمشی فولادی بلند مرتبه تحت تاثیر زلزله‌های نزدیک گسل و بررسی تاثیر ویژگی‌های جهت‌پذیری پیش‌رونده و جابه‌جایی ماندگار زلزله‌ها بر رفتار قاب‌ها با استفاده از روش‌های تحلیل دینامیکی غیرخطی فزاینده (IDA) و طیف ظرفیت و تعیین مقدار شتاب طیفی در زمانی که قاب در آستانه فروریزش قرار می‌گیرد، است. برای رسیدن به این اهداف، ۶ قاب خمشی سه دهانه برون محور سه دهانه با ۲۰، ۲۵ و ۳۰ طبقه و با دو مقدار برون محوری ۱ و ۲ طراحی شدند. سپس ۲۲ رکورد زلزله متناسب با پیشنهاد های FEMAP695 در دو دسته شامل رکوردهای دارای ویژگی‌های جهت‌پذیری پیش‌رونده و رکوردهای دارای ویژگی جابه‌جایی ماندگار انتخاب شدند. نقاط عملکردی حالات حدی استفاده بی‌وقفه (IO)، ایمنی جانی (LS) و آستانه فروریزش (CP) با استفاده از منحنی‌های خلاصه شده IDA برای همه رکوردهای نزدیک گسل بدست آمدند. در روش طیف ظرفیت، طیف‌های تقاضا برای هر دو دسته از رکوردها و سپس طیف میانگین آنها رسم شدند. نقطه عملکرد CP به صورت نقطه تلاقی دو منحنی طیف تقاضا با میرایی مؤثر و طیف ظرفیت بدست آمدند. نتایج تحلیل‌های IDA نشان می‌دهد که ویژگی‌های جهت‌پذیری پیش‌رونده و جابه‌جایی ماندگار تاثیر کمتری بر مقدار ظرفیت تغییر مکان نسبی نقطه آستانه فروریزش در مقایسه با تاثیر بر مقدار شتاب طیفی قاب‌ها دارند. قاب‌ها تحت تاثیر رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جابه‌جایی ماندگار، در شتاب طیفی پایین‌تری نسبت به رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده به نقطه آستانه فروریزش می‌رسند و شتاب طیفی محدوده IO و LS برای رکوردهای نزدیک گسل با اثر جهت‌پذیری پیش‌رونده بیشتر از رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جابه‌جایی ماندگار است. بررسی نوع سازوکار نیز نشان می‌دهد که در قاب ۱۵ طبقه، سازوکار شکست در اثر سازوکار یک طبقه میانی و برای قاب های ۲۰ و ۲۵ طبقه در اثر ایجاد مفاصل در تیرها و ستون‌های چند طبقه فوقانی است. نتایج به دست آمده از روش طیف ظرفیت نیز نشان می‌دهد که روش طیف ظرفیت مقادیر کمتری برای نقطه آستانه فروریزش CP در مقایسه با روش IDA ارائه می‌دهد.

واژگان کلیدی: رکوردهای نزدیک گسل، تحلیل دینامیکی فزاینده، نقطه آستانه فروریزش، جهت‌پذیری پیش‌رونده، جابه‌جایی ماندگار

۱- مقدمه

در حوزه نزدیک گسل تحرکات زمین به شدت متاثر از سازوکار گسلش، راستای لغزش و تغییر مکان استاتیکی سطح زمین در اثر پدیده جابه‌جایی ماندگار است.

آثار زلزله حوزه نزدیک به ویژه در جهت پیشروی گسیختگی باعث به وجود آمدن خسارات شدیدی به سازه‌ها به ویژه سازه‌هایی با تناوب بالا می‌شود [1]. این امر باعث شد که این عامل مهم به عنوان یکی از فاکتورهای تعیین کننده در علم شهرسازی وارد شود به طوری که Smolka, Raunch در مقاله‌ای که در سال ۱۹۹۶ ارائه داد با بررسی زمین‌لرزه Northridge کالیفرنیا در سال ۱۹۹۴ و Kobe ژاپن با بررسی خسارت‌های به وجود آمده تحت اثر زمین لرزه‌های حوزه نزدیک، از جمله عوامل مهم و متعدد دخیل در انتخاب و توسعه شهرهای آتی و طراحی شهرهای بزرگ عامل تاثیر نزدیکی به گسل و قرارگیری ساختمان‌ها در مسیر گسیختگی گسل را معرفی کنند.

John.F.Hall در دسامبر ۱۹۹۵ گزارشی طولانی با نام مطالعه پارامتری پاسخ قاب‌های خمشی فولادی به زمین لرزه نزدیک گسل ارائه کرد [2]. براساس نتایج این پژوهش معلوم شد که تنش غیر الاستیک عموماً در تیرها ایجاد شده ولی به میزان قابل توجهی تسلیم‌ها در ستون اتفاق می‌افتد. همچنین در طی بررسی انجام شده در طی این پژوهش در خصوص تاثیر مولفه قائم این دسته از رکوردها معلوم شد که مولفه قائم در این حالت از اهمیت کمتری برخوردار است.

در پژوهش دیگری که در سال ۱۹۹۹ توسط Allin و Nicolas Cornell [3] انجام گرفته است. به علت عدم کفایت طیف پاسخ برای ارائه رفتار واقعی سازه‌ها تحت اثر رکوردهای نزدیک گسل، برای شناخت بیشتر حرکت پالس‌گونه که از مشخصات بارز رکوردهای نزدیک گسل است، روش‌هایی برای بهبود رفتار اتصالات برای قاب‌های خمشی فولادی در برابر جنبش‌های زمین در نزدیکی گسل ارائه شده است.

مطالعات (Alavi (2004) و Sasani (2000) [4, 5] نشان

می‌دهد که از نمایش ساده پالس سرعت می‌توان نکات قابل توجهی در رابطه با ویژگی‌های پاسخ سازه‌ها تحت زمین‌لرزه نزدیک گسل به دست آورد.

در پژوهش دیگری Alavi & Kraawinkler [6] نشان دادند که بیشترین نیازهای لرزه‌ای برای ساختمان‌های متوسط و ضعیف در طبقات پایین و در سازه‌های قوی، در طبقات بالا رخ می‌دهد.

اهداف اصلی این پژوهش شامل بدست آوردن نقطه آستانه فروریزش (CP) قاب‌های خمشی فولادی بلند مرتبه تحت تاثیر زلزله‌های نزدیک گسل و بررسی تاثیر ویژگی‌های جهت‌پذیری پیش‌رونده و جابه‌جایی ماندگار زلزله‌ها بر رفتار قاب‌ها با استفاده از روش‌های تحلیل دینامیکی غیرخطی فزاینده (IDA) و طیف ظرفیت و تعیین مقدار شتاب طیفی در زمانی که قاب در آستانه فروریزش قرار می‌گیرد، است. برای رسیدن به این اهداف از ۲۲ رکورد زلزله نزدیک گسل و ۶ قاب خمشی واگرای فولادی سه استفاده شده است.

۲- رکوردهای نزدیک گسل

در این پژوهش از ۲۲ شتاب نگاشت معرف زلزله‌های با احتمال وقوع ۲ درصد در ۵۰ سال و مربوط به خاک نوع ۳ از سایت PEER استفاده شده است. رکوردهای زلزله در دو دسته یازده تایی شامل یازده رکورد نزدیک گسل با ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده مطابق جدول (۱) و یازده رکورد نزدیک گسل با ویژگی جابه‌جایی ماندگار مطابق جدول (۲) انتخاب شده‌اند [7]. شکل‌های (۱) و (۲) برای نمونه تغییرات شتاب در برابر زمان و تغییرات جابه‌جایی برابر زمان را برای یکی از زلزله‌های انتخابی با ویژگی جابه‌جایی ماندگار نشان می‌دهد و شکل‌های (۳) و (۴) برای نمونه تغییرات در برابر زمان و جابه‌جایی در برابر زمان برای یکی دیگر از زلزله‌های انتخاب شده با ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده [8] را نشان می‌دهد.

۳- مدل سازی رفتار قاب ها در نرم افزار

برای این پژوهش، ۶ قاب ۲۰،۱۵ و ۲۵ طبقه با ۲ مقدار برون محوری ۱ و ۲ متر با استفاده از آیین نامه AISC [9] طراحی شده است. به منظور حذف آثار سیستم های سازه ای بر یکدیگر در دو جهت عمود بر هم و هرچه بیشتر نزدیک کردن مدل سازی دوی بعدی به رفتار واقعی سازه که رفتاری سه بعدی است، سیستم سازه ای در نظر گرفته شده برای مقاومت در برابر بارهای جانبی سیستم قاب خمشی با مهاربند EBF پیرامونی است. این قاب ها با توجه به آنکه بطور تقریبی هر قاب به اندازه نصف دهانه باربر از طرفین بار تحمل میکند و دارای بار نقلی کمتری هستند، نیروی کششی بیشتری ناشی از نیروی زلزله در ستون های آن بوجود می آید.

جدول (۱)- مشخصات رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جهت پذیری

پیش رونده

Records	d (km)	Mw	PGA (g)	PGV (cm/s)	TP (s)
Chi-Chi, TCU087, NS	3.2	7.6	0.12	37	4.3
Chi-Chi, TCU087, EW	3.2	7.6	0.13	41	9.2
Kobe KJM, 090	0.6	6.9	0.6	74	1.2
Cape Mend, Rio Del	18.5	7.1	0.29	44	1.3
Cape Mend, Petrolia	9.5	7.1	0.66	90	0.7
Loma Pr Corralitos	5.1	6.9	0.48	45	0.8
Loma Pr, Gilroy	12.7	6.9	0.32	39	1.5
Chi-Chi, CHY101, EW	11.1	7.6	0.35	71	3.2
Chi-Chi, WGK, EW	11.1	7.6	0.33	69	3.2
Chi-Chi, TCU064, NS	15.1	7.6	0.12	54	7.2
Chi-Chi, TCU059, EW	17.8	7.6	0.17	59	6.4

Table 1. Near field earthquakes with forward directivity effects

همچنین فرض می شود که سازه روی خاک نوع ۳ طبق آیین نامه ۲۸۰۰ قرار دارد. با توجه به سیستم سازه و کاربری مسکونی آن، شتاب مبنای طرح برابر $g/35$ ، درجه اهمیت

شکل ۱. نمودار شتاب-زمان زلزله چي-چي, 1999, TCU052-NS

با ویژگی جابه جایی ماندگار

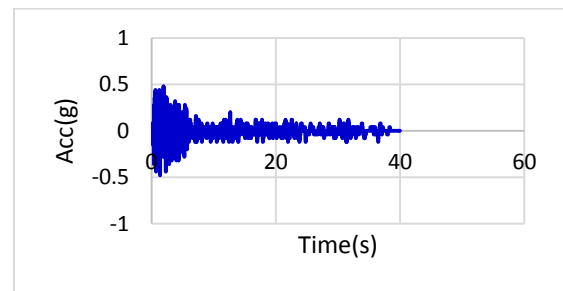


Fig. 1. Chi-Chi earthquake acceleration time history with fling effects, 1999, TCU052-NS

شکل ۲. نمودار جابه جایی-زمان زلزله چي-چي, 1999, TCU052-NS

ویژگی جابه جایی ماندگار

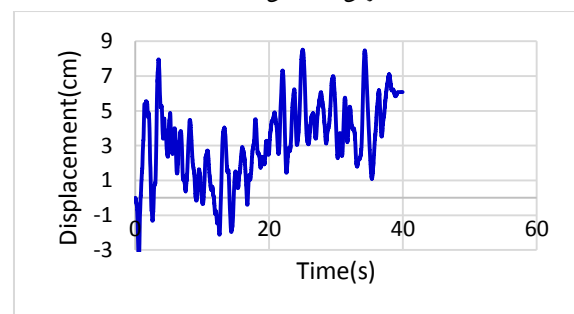


Fig. 2. Chi-Chi earthquake Displacement time history with fling effects, 1999, TCU052-NS

شکل (۳) نمودار شتاب-زمان زلزله چي-چي, 1999, TCU087-EW

با خصوصیت جهت پذیری پیش رونده

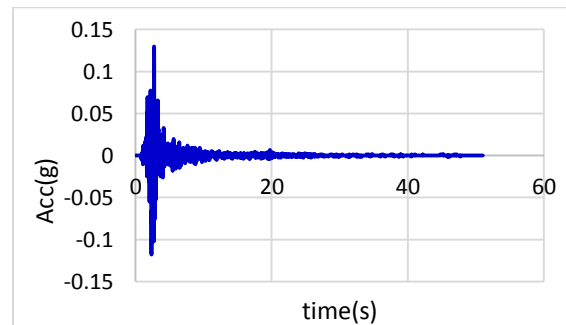


Fig. 3. Chi-Chi earthquake Displacement time history with forward directivity effects, 1999, TCU087-EW

شکل (۴)-نمودار جابه جایی-زمان زلزله چي-چي, 1999, TCU087-EW

با ویژگی جهت پذیری پیش رونده

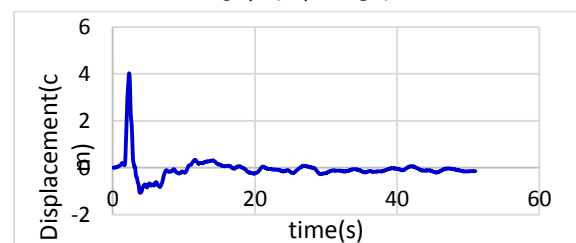


Fig. 4. Chi-Chi earthquake Displacement time history with forward directivity effects, 1999, TCU087-EW

با خطر نسبی خیلی زیاد به ترتیب برابر ۰/۱، ۰/۴، و ۱/۵ انتخاب شد.

شکل (۵)، نمای دو بعدی قاب‌های طراحی شده ۲۰،۱۵ و ۲۵ طبقه را نشان می‌دهند. در انتها مقاطع اعضا به دست آمده و برای هر ۳ طبقه، مقاطع بهینه انتخاب شده و به اعضا اختصاص داده می‌شود.

در جدول‌های (۳ تا ۸)، مشخصات مقاطع اختصاص داده شده به هر یک از قاب‌ها، آورده شده است.

۴- تحلیل دینامیکی فزاینده

تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی IDA، شامل تعداد زیادی تحلیل دینامیکی غیرخطی تحت اثر شتاب‌نگاشت‌های زلزله است و این شتاب‌نگاشت‌ها به گونه‌ای در ضریب مقیاس ضرب شده‌اند که بتوانند محدوده رفتار خطی، غیرخطی و در نهایت فروریزش سازه را تحت پوشش قرار دهند. روش استفاده شده در تحلیل IDA شامل اثر دادن یک یا چند رکورد زمین لرزه، که هریک از این رکوردها تا رسیدن به یک شدت خاص از زمین لرزه در ضریب مقیاس ضرب شده‌اند، روی سازه است. منحنی IDA اندازه خرابی (DM¹) را برای مقادیر مختلف شدت‌های زمین لرزه (IM) در اختیار ما قرار می‌دهد. تحلیل‌های IDA برای همه قاب‌ها با استفاده از تمامی ۲۲ زلزله و با در نظر گرفتن شتاب طیفی مود اول سازه ((Sa(T1,5%)) به عنوان شدت زلزله (IM) و بیشینه تغییر مکان نسبی بین طبقه ای θ به عنوان اندازه خرابی (DM) انجام شده‌اند [10]. برای عمومیت دادن به نتایج تحلیل‌ها از مقادیر میانگین ۰/۱۶، ۰/۵۰ و ۰/۸۴ استفاده می‌شود.

برای محدوده‌های IO و LS، با توجه به آیین‌نامه FEMA350 [11] و جدول C1-3 آیین‌نامه FEMA356 [12] و پژوهش‌هایی که در گذشته روی سیستم‌های دوگانه قاب خمشی با مهاربند EBF انجام شده است، مقدار θ برابر ۰/۰۲۵ برای برای محدوده ایمنی جانی (LS) و مقدار θ برابر ۰/۰۲ برای محدوده استفاده بی‌وقفه (IO) در نظر گرفته می‌شود.

ساختمان برابر ۱ و ضریب رفتار ساختمان برابر ۶ در نظر گرفته شد.

برای بارگذاری ثقلی از مقررات ملی ساختمان مبحث ششم استفاده شده است. بار سقف طبقات به همراه دیوارها در مجموع ۷۳۳ کیلوگرم بر مترمربع فرض می‌شود. جزئیات برای سقف بام و طبقات یکسان فرض می‌شود. فرض شده است که بارهای دیوارهای جانبی و راه پله و آسانسور در دل یار سقف قرار می‌گیرند.

جدول (۲)- مشخصات رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جابه‌جایی

Records	d (km)	Mw	PGA (g)	PGV (cm/s)	TP (s)
chi chi, TCU052-NS	1.84	7.6	0.488	723.7	7.9
chi chi, TCU052-EW	1.84	7.6	0.356	506.73	5.6
chi chi, TCU065-EW	2.49	7.6	0.789	194.31	4.4
chi chi, TCU067-EW	1.11	7.6	0.499	186.16	2.3
chi chi, TCU068-NS	3.01	7.6	0.356	867.76	10
chi chi, TCU068-EW	3.01	7.6	0.505	709.11	9.4
chi chi, TCU075-EW	3.38	7.6	0.332	171.07	4.2
chi chi, TCU076-EW	3.17	7.6	0.343	108.55	3.7
chi chi, TCU087-NS	3.42	7.6	0.113	93.09	4.5
chi chi, TCU128-EW	9.08	7.6	0.144	145.39	7.4
chi-chi TCU128, NS	9.7	7.6	0.17	180.3	7.2

Table 2. Near field earthquakes with fling effects

برای اعمال بار زنده، نوع ساختمان مسکونی فرض می‌شود. بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ایران بارگذاری بار زنده برای ساختمان‌های مسکونی در طبقات برابر ۲۳۳ کیلوگرم بر متر مربع و در بام ۱۵۳ کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شده است.

Ts و T0، پارامترهایی هستند که به نوع زمین و میزان خطر لرزه‌خیزی منطقه وابسته‌اند. این مقادیر برای زمین نوع ۳ و پهنه

1 Damage Measure

جدول ۴. مشخصات اعضای قاب ۲۵ طبقه با برون محوری ۱ متر

25 story- 1m	Column	Beam	Brace
1-3	TUBE120*120	IPE240	UNP140
3-6	TUBE140*140	IPE240	UNP140
6-9	TUBE160*160	IPE240	Unp160
9-12	TUBE180*180	IPE240	UNP160
12-15	TUBE200*200	IPE270	UNP180
15-18	TUBE220*220	IPE270	UNP180
18-21	TUBE240*240	IPE270	UNP200
21-25	TUBE280*280	IPE270	UNP220

Table 4. 25 Storey frame with 1m eccentricity

جدول ۵. مشخصات اعضای قاب ۲۰ طبقه با برون محوری ۲ متر

20 story- 2m	Column	Beam	Brace
1-3	TUBE140*140	IPE240	UNP140
3-6	TUBE160*160	IPE240	UNP140
6-9	TUBE180*180	IPE240	Unp160
9-12	TUBE200*200	IPE240	UNP160
12-15	TUBE240*240	IPE270	UNP180
15-18	TUBE280*280	IPE270	UNP180
18-20	TUBE300*300	IPE270	UNP200

Table 5. 20 Storey frame with 2m eccentricity

جدول ۶. مشخصات اعضای قاب ۲۰ طبقه با برون محوری ۱ متر

20 story- 1m	Column	Beam	Brace
1-3	TUBE120*120	IPE240	UNP140
3-6	TUBE140*140	IPE240	UNP140
6-9	TUBE160*160	IPE240	Unp160
9-12	TUBE180*180	IPE240	UNP160
12-15	TUBE200*200	IPE270	UNP160
15-18	TUBE220*220	IPE270	UNP180
18-20	TUBE240*240	IPE270	UNP220

Table 6. 20 Storey frame with 1m eccentricity

جدول ۷. مشخصات اعضای قاب ۱۵ طبقه با برون محوری ۲ متر

15 story- 2m	Column	Beam	Brace
1-3	TUBE140*140	IPE240	UNP140
3-6	TUBE160*160	IPE240	UNP140
6-9	TUBE180*180	IPE240	Unp160
9-12	TUBE200*200	IPE240	UNP160
12-15	TUBE280*280	IPE270	UNP160

Table 7. 15 Storey frame with 2m eccentricity

شکل ۵. نمای دو بعدی قاب‌های ۱۵، ۲۰ و ۲۵ طبقه طراحی شده

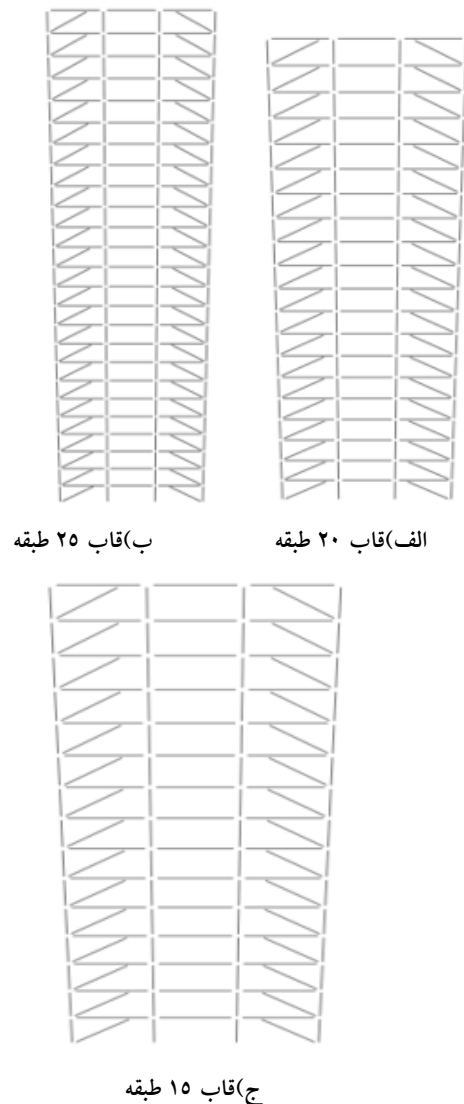


Fig. 5. Two dimensional view of designed 15, 20 and 25 storey frames

جدول ۳. مشخصات اعضای قاب ۲۵ طبقه با برون محوری ۲ متر

25 story- 2m	Column	Beam	Brace
1-3	TUBE140*140	IPE240	UNP140
3-6	TUBE160*160	IPE240	UNP140
6-9	TUBE180*180	IPE240	Unp160
9-12	TUBE200*200	IPE240	UNP160
12-15	TUBE240*240	IPE270	UNP180
15-18	TUBE280*280	IPE270	UNP180
18-21	TUBE300*300	IPE270	UNP200
21-25	TUBE320*320	IPE270	UNP200

Table 3. 25 Storey frame with 2m eccentricity

شده قاب ۲۵ طبقه با برون محوری ۱ متر برای رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جهت پذیری پیش رونده و با ویژگی جابه جایی ماندگار در شکل های (۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲) آورده شده و نتایج حاصل از منحنی های IDA در جدول های (۹ و ۱۰) ارائه شده اند. همچنین لحظه ای که منحنی های IDA به نقطه آستانه فروریزش رسیده اند، در شکل های (۹ و ۱۱) نشان داده شده اند.

جدول ۸. مشخصات اعضای قاب ۱۵ طبقه با برون محوری ۱ متر

15 story-1m	Column	Beam	Brace
1-3	TUBE140*140	IPE240	UNP140
3-6	TUBE160*160	IPE240	UNP140
6-9	TUBE180*180	IPE240	Unp160
9-12	TUBE200*200	IPE240	UNP160
12-15	TUBE240*240	IPE270	UNP200

Table 8. 15 Storey frame with 2m eccentricity

برای محدوده فروریزش سازه نیز، دو شرط که در آیین نامه FEMA350 ذکر شده است، اعمال می شود: ۱- کاهش شیب نمودار IDA تا نقطه ای که شیب برابر ۲۰ درصد شیب الاستیک اولیه می شود. ۲- در این معیار، برای حد فروریزش مقدار دریافت، برابر ۱۰ درصد در نظر گرفته می شود و در صورت رسیدن به این معیار و حاکم نشدن معیار اول، این نقطه به عنوان نقطه آستانه فروریزش تعیین می شود.

شکل ۶. مفاصل پلاستیک طبقه ۸ قاب ۱۵ طبقه

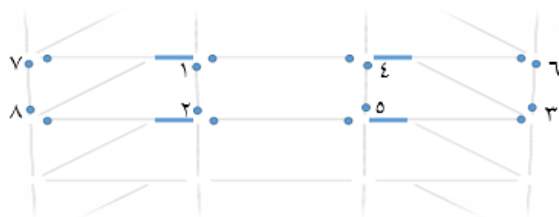


Fig. 6. Plastic joints in 8th floor of 15 storey frame

شکل ۷. مفاصل پلاستیک طبقه ۱۸ قاب ۲۰ طبقه

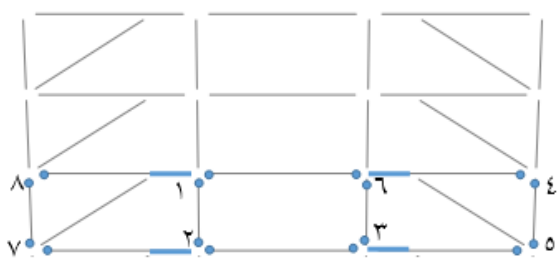


Fig. 7. Plastic joints in 18th floor of 20 storey frame

شکل ۸. مفاصل پلاستیک طبقه ۲۳ قاب ۲۵ طبقه

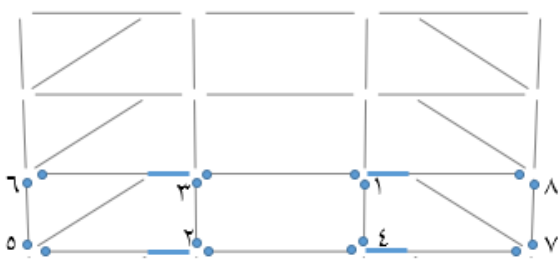


Fig. 8. Plastic joints in 23rd floor of 25 storey frame

همانطور که از جدول (۹) مشخص است، برای رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جهت پذیری پیش رونده، در شتاب طیفی $Sa(T1,5\%)=1.2$ و $\theta=0.1$ ، ۵۰ درصد رکوردهای نزدیک گسل، در شتاب طیفی $Sa(T1,5\%)=1.04$ ، ۸۴ درصد و در شتاب طیفی $Sa(T1,5\%)=1.33$ ، ۱۶ درصد رکوردهای نزدیک گسل قاب را وادار به عملکرد CP می کند.

۵- سازوکار شکست و مدل سازی مفاصل پلاستیک

در ارزیابی فروریزش، برای ستون ها از مدل پلاستیسیتیه متمرکز و برای تیرها از مدل مفصل گسترده در ناحیه تیر پیوند استفاده شده است. سازوکار نوع اول، سازوکار حاصل از ایجاد مفاصل در تیرها و ستون های چند طبقه اول به بالا و سازوکار نوع دوم، سازوکار حاصل از ایجاد مفاصل در تیرها و ستون های چند طبقه فوقانی و سازوکار نوع سوم، سازوکار یک طبقه میانی را شامل می شود. در قاب ۱۵ طبقه، سازوکار شکست از نوع سازوکار سوم و برای قاب های ۲۰ و ۲۵ طبقه از نوع سازوکار نوع دوم شکست است. با توجه به نتایج IDA، مشخص می شود که طبقه ۸ در قاب ۱۵ طبقه، طبقه ۱۸ در قاب ۲۰ طبقه و طبقه ۲۳ در قاب ۲۵ طبقه دچار فروریزش می شوند. در شکل های (۶، ۷ و ۸) ترتیب تشکیل مفاصل در طبقه مورد نظر رسم شده است.

۶- حالات حدی CP، IO LS با استفاده از منحنی های IDA

در این بخش، به عنوان نمونه، منحنی های IDA کلی و خلاصه

را وادار به عملکرد CP می‌کند.

منحنی‌های خلاصه شده برای تمام قاب‌ها برای رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده و جابه‌جایی ماندگار رسم شده و در جدول‌های (۱۱ تا ۱۴) مقادیر Sa و θ برای محدوده IO, LS و CP ارائه می‌شود. همچنین به عنوان نمونه، دو مورد دیگر از منحنی‌های IDA خلاصه شده در شکل‌های (۱۳ و ۱۴) نشان داده شده‌اند.

جدول ۹. ظرفیت‌های خلاصه شده حدی برای قاب ۲۵ طبقه با

برون‌محوری ۱ متر برای رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده

	Limite States			
	IO	LS	CP	
16%	0.4	0.45	1.33	
Sa(T1,5%)	50%	0.36	0.41	1.2
	84%	0.32	0.38	1.04
16%	0.02	0.025	0.1	
θ	50%	0.02	0.025	0.1
	84%	0.02	0.025	0.083

Table 9. Capacities of 25th storey frame with 1m eccentricity for near field earthquakes with forward directivity effects

شکل ۱۱. منحنی‌های کلی رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جابه‌جایی ماندگار برای قاب ۲۵ طبقه با برون‌محوری ۱ متر

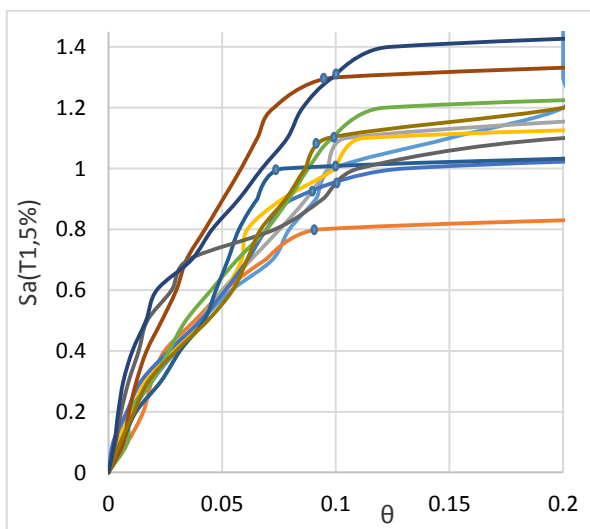


Fig. 11. General IDA curves for 25 storey frame with 1m eccentricity for near field earthquakes with fling effects

همانطور که از جدول (۱۰) مشخص است، برای رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده، در شتاب طیفی $Sa(T1,5%)=1.1$ و $\theta=0.1$ ، ۵۰ درصد رکوردهای نزدیک گسل، در شتاب طیفی $Sa(T1,5%)=0.96$ ، ۸۴ درصد و در شتاب طیفی $Sa(T1,5%)=1.18$ ، ۱۶ درصد رکوردهای نزدیک گسل قاب را وادار به عملکرد CP می‌کند.

شکل ۹. منحنی‌های کلی رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی

جهت‌پذیری پیش‌رونده برای قاب ۲۵ طبقه با برون‌محوری ۱ متر

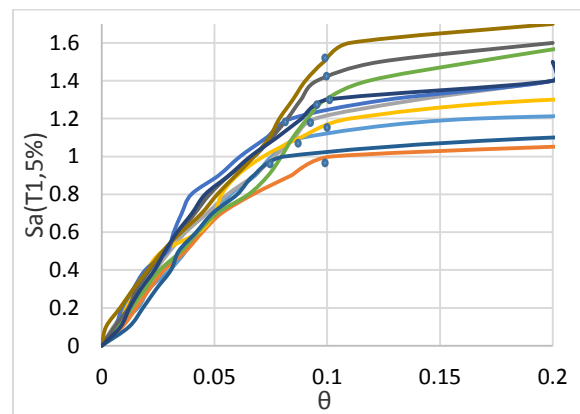


Fig. 9. General IDA curves for 25 storey frame with 1m eccentricity for near field earthquakes with forward directivity effects

شکل ۱۰. منحنی‌های خلاصه شده رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی

جهت‌پذیری پیش‌رونده برای قاب ۲۵ طبقه با برون‌محوری ۱ متر

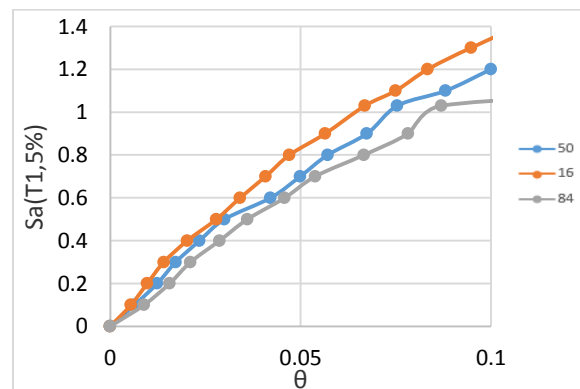


Fig. 10. 16th, 50th and 84th fractile General IDA curves of 25 storey frame with 1m eccentricity for near field earthquakes with forward directivity effects

در جدول (۱۰)، برای رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده، در شتاب طیفی $Sa(T1,5%)=1.1$ و $\theta=0.1$ ، ۵۰ درصد رکوردهای نزدیک گسل، در شتاب طیفی $Sa(T1,5%)=0.96$ ، ۸۴ درصد و در شتاب طیفی $Sa(T1,5%)=1.18$ ، ۱۶ درصد رکوردهای نزدیک گسل قاب

جدول ۱۰. ظرفیت‌های خلاصه شده حدی برای قاب ۲۵ طبقه با برون‌محوری ۱ متر برای رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جابه‌جایی ماندگار

	Limit States			
	IO	LS	CP	
Sa(T1,5%)	16%	0.51	0.62	1.18
	50%	0.32	0.37	1.1
	84%	0.28	0.34	0.96
θ	16%	0.02	0.025	0.1
	50%	0.02	0.025	0.1
	84%	0.02	0.025	0.1

Table 10. Capacities of 25th storey frame with 1m eccentricity for near field earthquakes with fling effects

شکل ۱۴. منحنی‌های خلاصه شده رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جابه‌جایی ماندگار برای قاب ۱۵ طبقه با برون‌محوری ۲ متر

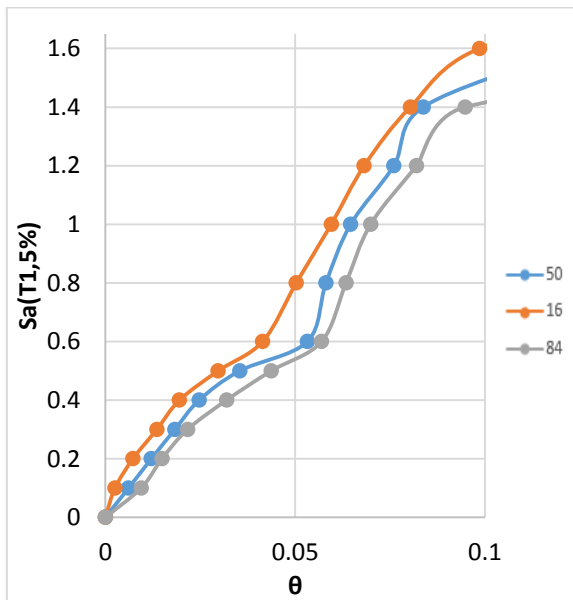


Fig. 14. 16th, 50th and 84th fractile General IDA curves of 15 storey frame with 1m eccentricity for near field earthquakes with fling effects

با توجه به منحنی‌های خلاصه شده IDA، محدوده IO، LS و CP برای تمامی قاب‌ها تحت تأثیر رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده و جابه‌جایی ماندگار به دست آمده است و با توجه به جداول (۱۱ تا ۱۴) مشخص می‌شود که با افزایش ارتفاع و پربردهای سازه‌ها شتاب طیفی قابل تحمل سازه‌ها از ارتفاع ۴۵ متر تا ۷۵ متر در حال کاهش است. به عنوان مثال تحت رکوردهایی با ویژگی جهت‌پذیری

شکل ۱۲. منحنی‌های خلاصه شده رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جابه‌جایی ماندگار برای قاب ۲۵ طبقه با برون‌محوری ۱ متر

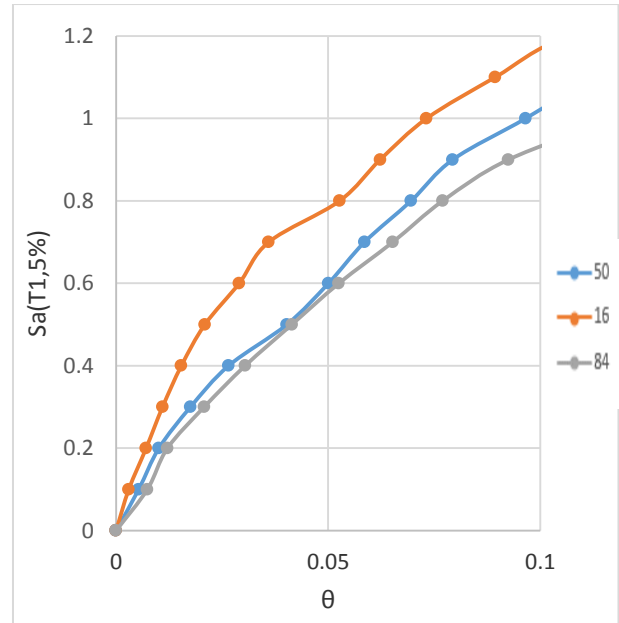


Fig. 12. 16th, 50th and 84th fractile General IDA curves of 25 storey frame with 1m eccentricity for near field earthquakes with fling effects

شکل ۱۳. منحنی‌های خلاصه شده رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده برای قاب ۲۰ طبقه با برون‌محوری ۲ متر

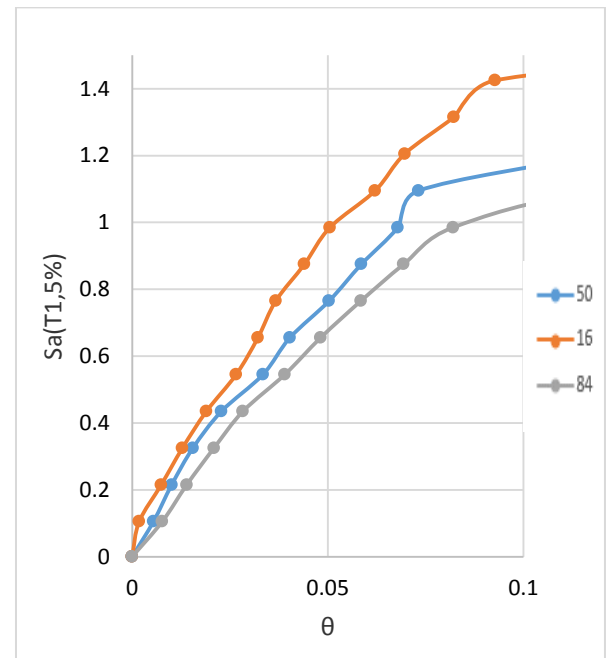


Fig. 13. 16th, 50th and 84th fractile General IDA curves of 20 storey frame with 2m eccentricity for near field earthquakes with forward directivity effects

جدول ۱۴. ظرفیت‌های قاب برای حالت‌های حدی برای قاب‌های با برون‌محوری ۲ متر تحت رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جابه‌جایی ماندگار

		۱۵ طبقه	۲۰ طبقه	۲۵ طبقه
Cp	Sa	۱,۴	۱,۱۶	۱,۰۶
	θ	۰,۰۸۴	۰,۰۷۸	۰,۱
LS	Sa	۰,۳۹	۰,۴۵	۰,۴۴
	θ	۰,۰۲۵	۰,۰۲۵	۰,۰۲۵
IO	Sa	۰,۳۲	۰,۳۷	۰,۳۹
	θ	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲

Table 14. Capacities of 25th storey frame with 2m eccentricity for near field earthquakes with fling effects

از مقایسه جداول مشخص می‌شود که شتاب طیفی محدوده IO و LS برای رکوردهای نزدیک گسل با اثر جهت‌پذیری پیش‌رونده بیشتر از رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جابه‌جایی ماندگار است. همچنین این مقدار برای رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جابه‌جایی ماندگار بیشتر از رکوردهای نزدیک گسل با جهت‌پذیری پیش‌رونده است. این امر نشان دهنده این است که در رکوردهایی با ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده سازه دیرتر وارد ناحیه غیرخطی می‌شود و سازه رفتار سخت‌تر و تردتری از خود نشان می‌دهد. هرچه سازه‌ها بیشتر وارد مرحله غیرخطی می‌شوند، مقدار پراکندگی نتایج بیشتر شده و سازه بیشتر تحت تاثیر رکوردهای ورودی قرار می‌گیرد.

۷- تعیین نقطه عملکرد CP به روش طیف ظرفیت

در این روش هر دو منحنی نیاز و ظرفیت به طیف های نیاز و ظرفیت تبدیل و به صورت طیف پاسخ شتاب Sa در برابر طیف پاسخ جابه‌جایی Sd رسم شده و نقطه عملکرد به صورت نقطه تلاقی این دو منحنی بدست آمده‌اند [13]. با استفاده از نرم‌افزار Seismosignal طیف‌های پاسخ زلزله برای هر دو دسته از زلزله‌های نزدیک گسل و سپس میانگین طیف پاسخ برای هر دسته از رکوردها محاسبه شده اند و نهایتاً ۲ طیف تقاضای میانگین برای رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده و رکوردهای نزدیک گسل با

پیش‌رونده، شتاب طیفی محدوده آستانه فروریزش قاب ۱۵ طبقه با برون محوری ۱ متر، ۱/۶۷، شتاب طیفی محدوده آستانه فروریزش قاب ۲۰ طبقه، ۱/۵۷ و شتاب طیفی محدوده آستانه فروریزش قاب ۲۵ طبقه، ۱/۲ است. این اتفاق با توجه به اثر P- Δ و افزایش وزن ساختمان قابل پیش بینی است.

جدول ۱۱. ظرفیت‌های قاب برای حالت‌های حدی برای قاب‌های با برون محوری ۱ متر تحت رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جهت‌پذیری

		پیش‌رونده		
		۱۵ طبقه	۲۰ طبقه	۲۵ طبقه
Cp	Sa	۱,۶۷	۱,۵۷	۱,۲
	θ	۰,۱	۰,۰۹۶	۰,۱
LS	Sa	۰,۴۳	۰,۵۱	۰,۴۱
	θ	۰,۰۲۵	۰,۰۲۵	۰,۰۲۵
IO	Sa	۰,۳۵	۰,۴۶	۰,۳۶
	θ	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲

Table 11. Capacities of 25th storey frame with 1m eccentricity for near field earthquakes with forward directivity effects

جدول ۱۲. ظرفیت‌های قاب برای حالت‌های حدی برای قاب‌های با برون محوری ۱ متر تحت رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جابه‌جایی ماندگار

		۱۵ طبقه	۲۰ طبقه	۲۵ طبقه
Cp	Sa	۱,۴۱	۱,۳۱	۱,۱
	θ	۰,۰۸۴	۰,۱	۰,۱
LS	Sa	۰,۳۸	۰,۳۸	۰,۳۷
	θ	۰,۰۲۵	۰,۰۲۵	۰,۰۲۵
IO	Sa	۰,۳۲	۰,۳۳	۰,۳۲
	θ	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲

Table 12. Capacities of 25th storey frame with 1m eccentricity for near field earthquakes with fling effects

جدول ۱۳. ظرفیت‌های قاب برای حالت‌های حدی برای قاب‌های با برون‌محوری ۲ متر تحت رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جهت‌پذیری

		پیش‌رونده		
		۱۵ طبقه	۲۰ طبقه	۲۵ طبقه
Cp	Sa	۱,۷۶	۱,۴۱	۱,۱۸
	θ	۰,۱	۰,۱	۰,۰۸۳
LS	Sa	۰,۴۷	۰,۵۳	۰,۴۶
	θ	۰,۰۲۵	۰,۰۲۵	۰,۰۲۵
IO	Sa	۰,۴۱	۰,۴۶	۰,۴
	θ	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲

Table 13. Capacities of 25th storey frame with 2m eccentricity for near field earthquakes with forward directivity effects

مقادیر برای قاب ۲۰ طبقه به روش IDA برای ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده، $\theta=0/1$ و $Sa=1/32$ و برای ویژگی جابه‌جایی ماندگار، $\theta=0/087$ و $Sa=1/16$ است.

شکل ۱۵. تعیین نقطه عملکرد CP قاب ۱۵ طبقه با برون محوری ۲ متر برای رکوردهای با جهت‌پذیری پیش‌رونده

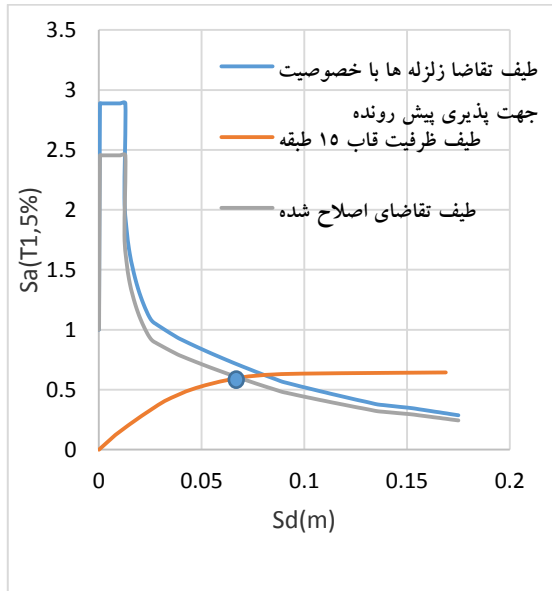


Fig. 15. CP for 15 storey frame with 2m eccentricity for near field earthquakes with forward directivity effects

شکل ۱۶. تعیین نقطه عملکرد CP قاب ۱۵ طبقه با برون محوری ۲ متر برای رکوردهای با ویژگی جابه‌جایی ماندگار

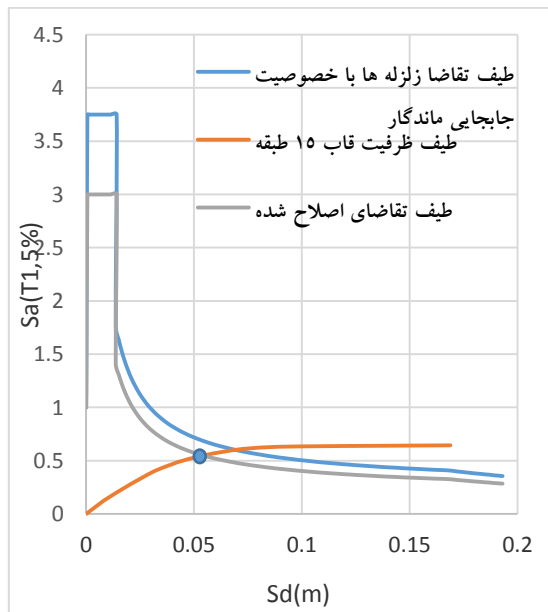


Fig. 16. CP for 15 storey frame with 2m eccentricity for near field earthquakes with fling effects

برای قاب ۲۵ طبقه به روش تعیین نقطه عملکرد CP برای

ویژگی جابه‌جایی ماندگار محاسبه شده‌اند. برای به دست آوردن نقطه عملکرد CP، نیاز به اصلاح طیف تقاضا با استفاده از میرایی β_{eff} وجود دارد. با اعمال ضرایب کاهش طیفی، منحنی طیف تقاضا با میرایی ۵ درصد به منحنی طیف تقاضا با میرایی بیش از ۵ درصد تبدیل می‌شود. با توجه به فرمول‌های میرایی اصلاح شونده، برای هر منحنی طیف ظرفیت، SR_A و SR_V محاسبه شده و در نمودارهای تعیین نقطه عملکرد اعمال می‌شود. نقاط کنترل برای رسم طیف ظرفیت، طبقاتی در نظر گرفته شده است که در تحلیل‌های IDA فروریزش در آن‌ها اتفاق افتاده است. به همین منظور برای قاب ۱۵ طبقه، طبقه ۸ برای قاب ۲۰ طبقه، طبقه ۱۸ و برای قاب ۲۵ طبقه، طبقه ۲۲ به عنوان نقاط کنترل در نظر گرفته شده‌اند. از تقاطع نمودارهای طیف تقاضای اصلاح شده میانگین با طیف ظرفیت هر یک از قاب‌های طراحی شده، مقادیر شتاب طیفی و جابه‌جایی نسبی متناظر با نقطه CP برای همه قاب‌ها بدست آمده و نتایج حاصل از این نمودارها در جدول‌های (۱۵ و ۱۶) ارائه شده‌اند. همچنین به عنوان نمونه، در شکل‌های (۱۵ و ۱۶) نقطه عملکرد CP برای قاب ۱۵ طبقه با برون محوری ۲ متر برای رکوردهای جهت‌پذیری پیش‌رونده و برای رکوردهای با ویژگی جابه‌جایی ماندگار به صورت نشان داده شده‌اند. نتایج حاصل از این نمودارها در جدول‌های (۱۵ و ۱۶) با نتایج حاصل از نمودارهای IDA خلاصه شده، مقایسه می‌شود.

همان‌طور که در جدول‌های (۱۵ و ۱۶) مشاهده می‌شود، θ و Sa برای هر قاب و تحت هر روش و برای هر ویژگی رکوردهای نزدیک گسل به دست آمده است. برای قاب ۱۵ طبقه به روش تعیین نقطه عملکرد CP برای ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده، $\theta=0/072$ و $Sa=0/09$ و برای ویژگی جابه‌جایی ماندگار، $\theta=0/064$ و $Sa=0/053$ است. این مقادیر برای قاب ۱۵ طبقه به روش IDA برای ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده، $\theta=0/1$ و $Sa=1/76$ و برای ویژگی جابه‌جایی ماندگار، $\theta=0/084$ و $Sa=1/4$ است. برای قاب ۲۰ طبقه به روش تعیین نقطه عملکرد CP برای ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده، $\theta=0/084$ و $Sa=0/51$ و برای ویژگی جابه‌جایی ماندگار، $\theta=0/071$ و $Sa=0/49$ است. این

تحت تأثیر رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جابه‌جایی ماندگار، در شتاب طیفی پایین‌تری نسبت به رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده به نقطه آستانه فروریزش می‌رسند، و شتاب طیفی محدوده IO و LS برای رکوردهای نزدیک گسل با اثر جهت‌پذیری پیش‌رونده بیشتر از رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جابه‌جایی ماندگار است. این امر نشان دهنده این است که در رکوردهایی با ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده سازه دیرتر وارد ناحیه غیرخطی می‌شود و سازه رفتار سخت‌تر و تردتری از خود نشان می‌دهد. دلیل این امر، بیشتر بودن مقادیر PGV و PGD رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جابه‌جایی ماندگار نسبت به رکوردهای نزدیک گسل با ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده است. بررسی نوع سازوکار نیز نشان می‌دهد که در قاب ۱۵ طبقه، سازوکار شکست در اثر سازوکار یک طبقه میانی و برای قاب‌های ۲۰ و ۲۵ طبقه در اثر ایجاد مفاصل در تیرها و ستون‌های چند طبقه فوقانی است به نحوی که طبقه ۸ در قاب ۱۵ طبقه، طبقه ۱۸ در قاب ۲۰ طبقه و طبقه ۲۳ در قاب ۲۵ طبقه قاب‌ها دچار فروریزش می‌شوند.

نتایج به دست آمده از روش طیف ظرفیت نشان می‌دهد که روش طیف ظرفیت مقادیر کمتری برای نقطه آستانه فروریزش CP در مقایسه با روش IDA ارائه می‌دهد. برای نمونه با توجه به جدول‌های (۱۴ و ۱۵)، θ و Sa برای هر قاب و تحت هر روش و برای هر ویژگی رکوردهای نزدیک گسل به دست آمده است. برای قاب ۱۵ طبقه به روش تعیین نقطه عملکرد CP برای ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده، $\theta=0/072$ و $Sa=0/084$ و برای ویژگی جابه‌جایی ماندگار، $\theta=0/078$ و $Sa=0/084$ و برای ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده، $\theta=0/096$ و $Sa=0/084$ است. این مقادیر برای قاب ۱۵ طبقه به روش IDA برای ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده، $\theta=0/1$ و $Sa=0/083$ و برای ویژگی جابه‌جایی ماندگار، $\theta=0/084$ و $Sa=0/084$ است.

با مقایسه نتایج به دست آمده از قاب‌های هم ارتفاع با مهاربندی‌های مختلف مشاهده می‌شود، قاب دارای برون محوری ۱ متر، عملکرد بهتری را در مقایسه با قاب دارای برون محوری ۲ متر از خود نشان می‌دهد و با وجود سبک‌تر بودن قاب‌های با برون محوری ۱ متر نسبت به قاب‌های با برون

ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده، $\theta=0/096$ و $Sa=0/39$ و برای ویژگی جابه‌جایی ماندگار، $\theta=0/084$ و $Sa=0/36$ است. برای قاب ۲۵ طبقه به روش IDA برای ویژگی جهت‌پذیری پیش‌رونده، $\theta=0/1$ و $Sa=1/18$ و برای ویژگی جابه‌جایی ماندگار، $\theta=0/082$ و $Sa=1/06$ است.

جدول ۱۵. مقایسه θ به دست آمده تحت رکوردهای متفاوت به دو روش

	روش تعیین نقطه عملکرد CP			
	روش IDA		روش نقطه عملکرد CP	
	پیش‌رونده	جابه‌جایی ماندگار	پیش‌رونده	جابه‌جایی ماندگار
قاب ۱۵ طبقه	0/1	0/084	0/072	0/064
قاب ۲۰ طبقه	0/1	0/078	0/084	0/071
قاب ۲۵ طبقه	0/083	0/1	0/096	0/084

Table 15. Comparison of θ using IDA method and calculated CP performance methods

جدول ۱۶. مقایسه Sa به دست آمده تحت رکوردهای متفاوت به دو روش

	روش تعیین نقطه عملکرد IDA			
	روش IDA		روش نقطه عملکرد CP	
	پیش‌رونده	جابه‌جایی ماندگار	پیش‌رونده	جابه‌جایی ماندگار
قاب ۱۵ طبقه	1/76	1/4	59	0/53
قاب ۲۰ طبقه	1/32	1/16	0/51	0/49
قاب ۲۵ طبقه	1/18	1/06	0/39	0/36

Table 16. Comparison of Sa using IDA method and calculated CP performance methods

۸- نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل‌های IDA نشان می‌دهد که ویژگی‌های جهت‌پذیری پیش‌رونده و جابه‌جایی ماندگار تأثیر کمتری بر مقدار ظرفیت تغییر مکان نسبی نقطه آستانه فروریزش در مقایسه با تأثیر بر مقدار شتاب طیفی قاب‌ها دارند. قاب‌ها

- [5] Sasani M., Bertero V.V., "Importance of Severe Pulse-Type Ground Motions in Performance-Based Engineering: Historical and Critical Review," Proceedings of the 12th WCEE, Auckland, New Zealand, paper No.: 1302, (2000)
- [6] Alavi B, Krawinkler H., "Behavior of moment-resisting frame structures subjected to near-fault ground motions", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 33:687-760, (2004)
- [7] Dimitrios Vamvatsikos and C. Allin Cornell, "The incremental dynamic analysis and its application to performance based earthquake engineering", (2002)
- [8] Somerville Paul, "Characterizing Near-Fault Ground Motion for the Design and Evaluation of Bridges", Principal Seismologist, URS Corp. Pasadena CA 91101. (2001)
- [9] AISC, "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings", American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, (2005).
- [10] E. Ahmadi, F. Daneshjoo, "Seismic evaluation of high rise steel framed with outrigger system using failure curves and damage profile", *Modares Civil Engineering Journal*, Vol. 17, No. 4, (1396)
- [11] FEMA 350, "Commentary for the seismic rehabilitation of buildings", Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, (2000)
- [12] FEMA 356, "Commentary for the seismic rehabilitation of buildings", Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, (2000)
- [13] Farhad Daneshjoo, "Nonlinear static Pushover Analysis, Capacity and Demand Spectra", Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, Technical Report, DOI 10.13140/RG.2.1.1083.8241, (2015)

محوری ۲ متر، سازه دیرتر وارد ناحیه آستانه فروریزش می‌شود. پیشنهاد می‌شود برای تعیین نقطه آستانه فروریزش در روش‌های آیین‌نامه‌ای، راهکارهایی ارائه شود که نتایج حاصل از روش IDA با نتایج حاصل از روش طیف ظرفیت به هم نزدیک‌تر شود و میزان خطای حاصل از این دو روش به کمترین برسد. برای رسیدن به این هدف می‌توان در کارهای بعدی، پارامترهای موثر در اختلاف جواب‌های ناشی از روش IDA و روش طیف ظرفیت بررسی شده و میزان تاثیر هر کدام از این پارامترها برای هر کدام از روش‌ها به صورت جداگانه در جواب نهایی مشخص شود تا بتوان با حذف عواملی که باعث اختلاف جواب‌ها می‌شود، جواب‌ها را تا حد زیادی به هم نزدیک کرد.

References

۹-مراجع

- [1] S.I. Barakati, F. Daneshjoo, "Seismic Demand and capacity of steel moment resisting frames under near field earthquakes using IDA analysis", *Modares Civil Engineering Journal*, Vol. 14, No. 1, (1393)
- [2] John F.Hall, "Parameter study of the response of moment-resisting steel frame buildings to near-source ground motions", Report No.eerl 95-08, (1995)
- [3] Allin Cornell C., Nicolas Luco, "The Effect of Connection Fractures on Steel Moment Resisting Frame, Seismic Demands and Safety", A Report On Sac Phase Task 5.4.6, Final Draft, (1999)
- [4] Alavi B., Krawinkler H., "Considerations of Near-Fault Ground Motion Effects in Seismic Design," *Proceedings of the 12th WCEE*, New Zealand, Paper No.: 2665, (2000)

Effects of fling step and forward directivity of near field earthquakes on seismic behavior and collapse prevention point (CP) of high-rise EBF steel moment frames using IDA and capacity spectrum methods.

Hadi Parsian¹, Farhad Daneshjoo^{2*}

1 MSc Student, Iran, Tehran, Tarbiat Modares University, Civil Engineering dept.

2 Professor, Iran, Tehran, Tarbiat Modares University, Civil Engineering dept.

* danesh_fa@modares.ac.ir

Abstract:

The aims of this research are mainly to obtain the collapse prevention (CP) seismic capacity of eccentric braced high rise steel moment resisting frames under near field earthquakes and evaluate the effects of fling step and forward directivity, using incremental dynamic analysis and capacity spectrum methods. Drift ratio θ and mode acceleration spectrum with 5% damping $S_a(T1,5\%)$ are selected as the appropriate damage measure (DM) and intensity measure (IM) respectively. Six eccentric steel braced frames with 3 bays and 15, 20 and 25 storeys with eccentricity of 1m and 2m are designed according to standards. The frames systems are equivalently taken as shear-flexural beams with representative lateral stiffness ratios. Twenty two earthquakes according to FEMAP695 are chosen which are divided in two groups, one with fling step effects and the other with forward directivity effects.

Incremental dynamic analysis (IDA) is one of the efficient tools for estimating seismic capacity of frames. In this research, IDA is implemented for each of 6 frames using all 22 earthquakes. The frames are once subjected to multiple scaled 11 selected earthquakes with forward directivity effects, and once more they are subjected to other multiple scaled 11 selected earthquakes with fling step effects, and response parameters of frames are calculated using nonlinear dynamic analysis. Each IDA curve is plotted for $S_a(T1,5\%)$ versus maximum inter story drift ratio θ . Spectral acceleration $S_a(T1,5\%)$ is scaled until the collapse of the frames occurs. IDA analysis results show that fling step and forward directivity characteristics of near field earthquakes have less effects on drift ratios compared with their effects on spectrum acceleration values. Frames under earthquakes with fling step reach CP point with lower acceleration spectrum values compared to those under earthquakes with forward directivity characteristics. Also IO and LS limit state spectrum values for frames under earthquakes with forward directivity effects are more than those values for frames under earthquakes with fling step effects.

Collapse prevention (CP) points are also calculated using the capacity spectrum method. For this purpose, at first, mode shapes for elastic vibration of frames are calculated. Then each scaled shear force is distributed using the first mode of vibration and capacity curves are drawn using nonlinear static push over analysis. The push over capacity curve is then converted to capacity spectrum using first mode of vibration. Acceleration response spectrum are drawn for each of 22 earthquakes using 5% damping and then converted to demand spectra. The demand spectra are then corrected for effective damping which is a value more than 5%. The corrected demand spectra for 11 near field earthquakes with fling step effects and those for other 11 earthquakes with forward directivity effects are then averaged. CP point for each frame is then obtained from the point of conjunction of the averaged corrected demand spectra with those corresponding capacity spectra of frames. Results from capacity spectrum method show that CP values are less than those CP values calculated from IDA analysis.

Keywords: Near-Fault Records, IDA Analysis, NSP Analysis, Point of Collapse Prevention, Forward Directivity, Fling Step