

# تأثیر وجود طبقه همکف نرم بر احتمال فروریزش قاب‌های خمشی تحت رکوردهای نزدیک و دور از گسل

وحید صابری<sup>۱</sup>، طاهره صالحی شهرابی<sup>۲\*</sup>، حمید صابری<sup>۱</sup>، مسعود احمدوند<sup>۳</sup>

۱- استادیار دانشکده عمران، هیئت علمی دانشگاه ایوانکی

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه ایوانکی

۳- مربی دانشکده عمران، هیئت علمی دانشگاه ایوانکی

\*t.salehi.structure@gmail.com

تاریخ پذیرش: [۹۵/۰۶/۰۸]

تاریخ دریافت: [۹۴/۱۲/۱۵]

## چکیده

طبقه نرم بیشتر در طبقه همکف به دلیل فضای باز برای احداث مغازه، پارکینگ و یا حتی در مدارس به وجود می‌آید. در این مقاله به بررسی اثر زلزله‌های نزدیک و دور از گسل بر روی دو مجموعه قاب خمشی فولادی میان مرتبه و کوتاه مرتبه پرداخته شده است. در هر دو مجموعه، یک قاب منظم با ارتفاع طبقات ۳/۲ متر و دو قاب نامنظم با طبقه نرم همکف به ارتفاع ۴/۵ و ۵/۵ متر ارزیابی شده است. در تحلیل IDA پارامتر شدت IM متناظر با ماکزیمم نسبت دریافت بین طبقه‌ای و پارامتر پاسخ DM متناظر با شتاب طیفی مود اول  $S_a(T_1, 5\%)$  لحاظ شد و سطح عملکرد جلوگیری از فروپاشی CP بررسی شد. نتایج حاصله از منحنی‌های شکنندگی در حالت حدی (CP) برای سازه‌های میان مرتبه بیانگر این مطلب است که با افزایش ارتفاع طبقه نرم و متعاقباً نرم‌تر شدن آن، احتمال خرابی ده درصد سازه در رکوردهای نزدیک نسبت به دور از گسل کاهش بیشتری داشت. در حالیکه این احتمال برای سازه‌های کوتاه مرتبه حدوداً یکسان است.

**واژگان کلیدی:** سازه نامنظم، طبقه نرم، منحنی شکنندگی، نزدیک و دور از گسل، قاب خمشی ویژه فولادی

## ۱- مقدمه

آثار مخربی که روی طبقه نرم تحمیل شد که حتی باعث فروپاشی کلی ساختمان شد. [1-2-3-4]

با وجود پژوهش‌هایی که طی سالیان متمادی پژوهشگران در این زمینه به انجام رساندند تا بتوانند ضوابط مناسبی را برای بهبود عملکرد این نوع سازه‌ها در آیین نامه‌های لرزه‌ای ارائه دهند به نظر می‌رسد که هنوز نیاز به تحقیقات بیشتری در این زمینه است که از

در بسیاری از سازه‌ها در طبقه همکف به دلیل وجود فضای باز به علت قرارگیری فروشگاه‌ها، پارکینگ‌ها، بازار و سالن‌ها طبقه‌ای نرم ایجاد می‌شود. با توجه به مشاهدات خطر زلزله‌های گذشته از قبیل زلزله‌ی ۹۲۱ چی چی، ۱۹۹۵ کوبه، ۲۰۰۳ بم و ۲۰۰۵ کشمیر و

پالس گونه حوزه نزدیک و دور از گسل پرداخته خواهد شد. برای دستیابی به پاسخ دقیق‌تر، از تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی IDA استفاده می‌کنیم و با استفاده از منحنی‌های شکنندگی که از روابط آماری حاصل می‌شود به بررسی عملکرد سازه‌ها پرداخته خواهد شد.

## ۲- مبانی تحلیل دینامیکی افزایشی

آنالیز دینامیکی افزایشی یک روش تحلیل پارامتری است که در سال‌های اخیر برای تخمین‌های مختلف سطح عملکردی یک ساختمان کامل تحت بارهای لرزه‌ای، فراگیر شده است. مدل‌های ساختمانی تحت یک یا چند رکورد زلزله با شدت‌های مختلف مدل شده و یک یا چند منحنی پاسخ در اثر مقدار شدت لرزه‌ای تولید می‌شود.

شدت رکوردهای اعمالی بر سازه که در طول تحلیل‌ها اضافه می‌شود با پارامتر IM و خروجی تحلیل‌ها که پاسخ سازه به تهیج است با پارامتر DM نمایش داده می‌شود. منحنی‌های IDA در واقع رسم رابطه بین پاسخ سازه (DM) نسبت به تغییر شدت (IM) رکوردها است. پارامترهای انتخابی برای IM و DM باید به خوبی نمایانگر اثر زلزله و رفتار سازه باشد. الگوریتم مورد استفاده جهت مقیاس رکوردها به الگوریتم گام به گام مرسوم می‌باشد. الگوریتم گام به گام را می‌توان ساده‌ترین روش جهت فهم و برنامه‌نویسی دانست. تحلیل‌ها با افزایش سطوح IM با گام‌های مساوی تا زمانی که همگرایی حاصل شود (نشانه‌ای از پایداری دینامیکی کلی) ادامه می‌یابد. در این صورت لازم است که کاربر فقط گام IM و بیشینه تعداد تحلیل‌های دینامیکی را انتخاب نموده تا نتایج حاصل شود. برای بیان سطح مقیاس، لازم است انتخاب اولیه و موقتی از IM (که قابل مقیاس باشد) داشته باشیم. پس از انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی، یک یا چند منحنی از پاسخ سازه (DM) در مقابل سطوح مختلف جنبش زمین (IM) حاصل می‌شود. در نهایت با تعریف حالات حدی و پردازش نتایج با استفاده از روابط احتمالاتی، عملکرد سازه ارزیابی می‌شود. اطلاعات به دست آمده از تحلیل IDA بینشی از رفتار و پلی بین نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی بار افزون و پاسخ دینامیکی است [9].

جمله آن می‌توان به ویژگی‌های پالس گونه زلزله‌های حوزه نزدیک و انجام تحلیل‌های دقیق از قبیل تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی IDA اشاره نمود تا بتوان عملکرد این گونه سازه‌ها را در مقابل زلزله‌های حوزه نزدیک و دور از گسل بهتر پیش‌بینی نمود تا سازه‌های مناسب‌تری طراحی شوند. از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

اولین پژوهش‌ها در مورد طبقه نرم در سال ۱۹۸۶ توسط مول و الارکون با بررسی رفتار سازه‌های بتن آرمه با سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی در یک مطالعه تحلیلی و آزمایشگاهی انجام شد که در یکی از مدل‌ها، دیوار برشی در تراز طبقه اول قطع شد و مشاهده گردید که نیاز شکل‌پذیری اعضا در محل ناپیوستگی، ۴ تا ۵ برابر حالتی است که دیوار برشی قطع نشده است [۵]. پال و همکاران در سال ۲۰۰۴ به بررسی عملکرد مبتنی بر طراحی با استفاده از کمک دامپر اصطکاکی Pall پرداختند. همچنین آنها برای جلوگیری از فروریزش ساختمان‌ها با طبقه‌ی نرم در برابر زلزله‌های آینده به مقاوم‌سازی اینگونه سازه‌ها با کمک دامپر اصطکاکی Pall پرداختند. آنها نشان دادند که استفاده از این کمک دامپر بهترین راه حل برای ارتقاء لرزه‌ای است و همچنین هزینه‌ی تعمیر و نگهداری رایگان آن مزید بر علت است [۶]. سان لی و همکاران در سال ۲۰۰۴ به بررسی روشی مبتنی بر عملکرد لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی با هدف قرار دادن دریافت و سازوکار تسلیم پرداختند. آنها یک روش جدید طراحی مبتنی بر عملکرد با استفاده از اصلاح مفهوم انرژی تعادل و روش‌های طراحی پلاستیک ارائه نمودند. در روش طراحی ارائه شده هدف دریافت طبقه به عنوان یک کلید طراحی بود. آنها ۳ قاب خمشی فولادی ۳، ۹ و ۲۰ طبقه با طبقه نرم تنها در طبقه اول را بررسی کردند و نشان دادند که براساس این روش می‌توان عملکرد ساختمان را به خوبی تحت زلزله پیش‌بینی و کنترل نمود [۷]. آدریان فردریک و همکاران در سال ۲۰۱۵ به ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های نامنظم با طبقه نرم تنها در طبقه اول با استفاده از تحلیل پوش‌آور پرداختند و دریافتند که هر ساختمانی که به درستی طراحی شده باشد قادر به مقاومت در برابر زلزله، بدون تحمیل خسارت قابل توجهی هستند [۸].

در این مقاله به بررسی و مقایسه‌ی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های منظم و نامنظم در سختی جانبی به همراه طبقه نرم تحت رکوردهای

جدول (۱) مشخصات لرزه‌ای رکوردهای دور از گسل

Number	Earthquake Name	Year	Magnitude	R (km)	PGA (g)
1	Imperial Valley-06	1979	6.53	12.56	0.379
2	Kobe-Japan	1995	6.9	19.15	0.233
3	Kocaeli-Turkey	1999	7.51	15.37	0.364
4	Superstition Hills-02	1987	6.54	18.2	0.357
5	Superstition Hills-02	1987	6.54	11.16	0.474
6	Chi-Chi-Taiwan-06	1999	6.3	35.97	0.147
7	Chi-Chi-Taiwan-06	1999	7.6	11.14	0.353
8	Imperial Valley	1979	6.5	10.4	0.315
9	Loma Prieta	1989	6.9	12.7	0.322
10	Loma Prieta	1989	6.9	14.4	0.367
11	Northridge	1994	6.7	15.8	0.42
12	Northridge	1994	6.7	13	0.41
13	N. Palm Springs	1986	6.06	64.8	0.121
14	Manjil	1990	7.37	64.67	0.097
15	Chi-Chi-Taiwan-06	1999	6.3	45.72	0.152

Table (1): Seismic properties of far-fault records

جدول (۲) مشخصات لرزه‌ای رکوردهای نزدیک گسل

Number	Earthquake Name	Year	Magnitude	R (km)	PGA (g)
1	Imperial Valley-06	1979	6.53	0.65	0.287
2	Imperial Valley-06	1979	6.53	7.31	0.235
3	Imperial Valley-06	1979	6.53	0.56	0.469
4	Westmarland	1981	5.9	16.66	0.232
5	Superstition Hills-02	1987	6.54	0.95	0.431
6	Loma prieta	1989	6.93	11.07	0.369
7	Landers	1992	7.28	34.86	0.135
8	Landers	1992	7.28	23.62	0.244
9	Northridge-01	1994	6.69	5.43	0.617
10	Northridge-01	1994	6.69	5.48	0.419
11	Northridge-01	1994	6.69	6.5	0.874
12	Kobe-Japan	1995	6.9	0.27	0.697
13	Kobe-Japan	1995	6.9	1.47	0.671
14	Chi-Chi-Taiwan	1999	7.62	9.94	0.398
15	Chi-Chi-Taiwan	1999	7.62	25.42	0.144

Table (2): Seismic properties of near-fault records

### ۳- مشخصات رکوردهای دور و نزدیک گسل

در این پژوهش از ۱۵ رکورد حوزه دور از گسل و ۱۵ رکورد حوزه نزدیک گسل مطابق جداول (۱ و ۲) با اثر پالس (مجموعاً ۳۰ رکورد) استفاده شده است که از سایت Peer دریافت شد [10]. معیار انتخاب رکوردهای نزدیک گسل بر اساس پیشنهاد آقای بیکر در سال ۲۰۰۷ مبتنی بر ۳ معیار زیر است [11].

- (۱) شاخص پالس بیشتر از ۰/۸۵ باشد.
  - (۲) پالس در لحظات آغازین سرعت نداشت شکل گیرد.
  - (۳) PGA رکورد زلزله بیشتر از ۳۰ متر بر ثانیه باشد.
- نوع خاک رکوردها براساس آیین نامه ۲۸۰۰ ایران، نوع ۳ لحاظ شد [12]. از رکوردهای مذکور برای انجام تحلیل دینامیکی غیر خطی افزایشی IDA استفاده می‌نمایم و رفتار سازه‌های منظم و نامنظم را تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل بدست می‌آوریم.

### ۴- مدلسازی قاب‌ها در نرم‌افزار OPENSEES

۴-۱- معرفی و مدلسازی قاب‌های مطالعه شده

دو قاب مرجع ۹ و ۵ طبقه با ارتفاع طبقات ۳/۲ متر منظم طراحی شده است و سایر قاب‌ها برای بررسی اثر نامنظمی طبقه نرم یکی به صورت سازه ۹ طبقه با طبقه نرم همکف به ارتفاع ۴/۵ و ۵/۵ متر و دیگری به صورت سازه ۵ طبقه با طبقه نرم همکف به ارتفاع ۴/۵ و ۵/۵ متر به طول دهانه ۵ متر برای تمام سازه‌ها لحاظ شد. کاربری سازه‌ها مسکونی در نظر گرفته شد و خاک محل قرارگیری سازه‌ها بر طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران [12]

نوع ۳ است و نسبت شتاب مبنای طرح، پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد ( $PGA=0.35$ ) برای تمام سازه‌ها در نظر گرفته شد. برای مقاطع ستون از مقاطع باکس استفاده شده است. همان طور که در شکل (۱) قسمت الف نشان داده شده است مقطع  $Box\ 600X600X30$  که ستون طبقه اول سازه منظم را تشکیل می‌دهد دارای طول و عرض ۶۰۰ میلی‌متر و ضخامت ۳۰ میلی‌متر است. همچنین برای مقاطع تیر از مقاطع تیر ورق استفاده شده است. همان گونه که در شکل (۱) ب نشان داده شده است مقطع  $2PL300X29\ PL492X15$  که تیر طبقه دارای عرض بال بالا و پایین ۳۰۰ میلی‌متر، ضخامت بال بالا و پایین ۲۹ میلی‌متر، ضخامت جان ۱۵ میلی‌متر و ارتفاع کلی ۵۵۰ میلی‌متر است. سایر ابعاد مقاطع تیر و ستون در جداول (۳ و ۴ و ۵) نشان داده شده است.

مدل سازی خطی سازه‌های منظم و نامنظم در نرم‌افزار SAP2000 ورژن ۱۴ صورت پذیرفت و مدل‌سازی و آنالیز دینامیکی غیرخطی افزایشی IDA در نرم‌افزار اجزا محدود Opensees با ورژن ۲/۴/۰ که یک نرم‌افزار بسیار قوی برای آنالیزهای غیر خطی است، استفاده شده است. میرایی معادل ۵٪ لحاظ شد. از مصالح فولاد ۰۱ (Steel01 Material) مطابق شکل (۲) استفاده شده است که این مصالح تک محوری دوخطی با سخت شوندگی سینماتیک و سخت شوندگی ایزوتروپیک اختیاری است که با یک معادله تکاملی غیر خطی توصیف می‌شود. المان تیر به ستون غیر خطی (NonLinear Beam-Column Element) انتخاب شده که این المان توزیع پلاستیسیته در طول المان را در نظر می‌گیرد [14].

شکل (۱) مقاطع سازه‌های منظم و نامنظم در برنامه‌های Sap و Opensees (الف) مقطع  $Box600X600X30$  (ب) مقطع  $2PL300X29\ PL492X15$

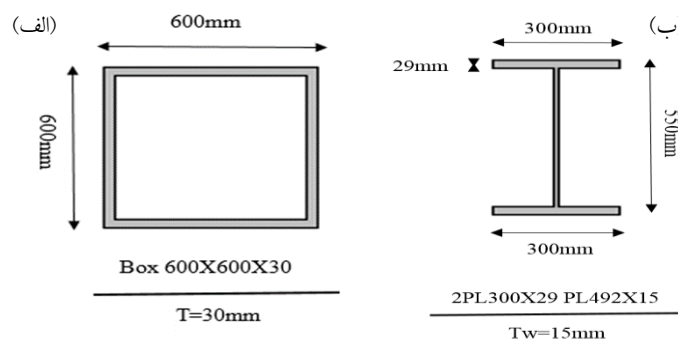


Fig. 1. Regular and irregular sections in the Sap and Opensees software (a) Section  $Box600X600X30$  (b) Section  $2PL300X29\ PL492X15$

شکل (۲) مصالح فولاد ۰۱

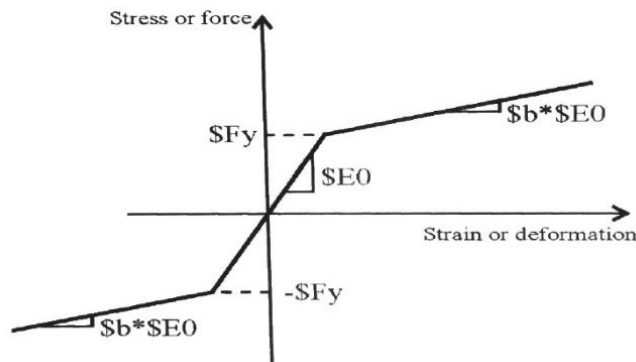


Fig. 2. Steel 01 Material

شکل (۳) مدلسازی سازه های منظم و نامنظم در برنامه های Sap و Opensees (الف) قاب منظم میان مرتبه ب) قاب نامنظم میان مرتبه با طبقه نرم همکف به ارتفاع ۴/۵ متر (پ) قاب نامنظم میان مرتبه با طبقه نرم همکف به ارتفاع ۵/۵ متر (ج) قاب منظم کوتاه مرتبه (د) قاب نامنظم کوتاه با طبقه نرم همکف به ارتفاع ۴/۵ متر (ه) قاب نامنظم کوتاه با طبقه نرم همکف به ارتفاع ۵/۵ متر

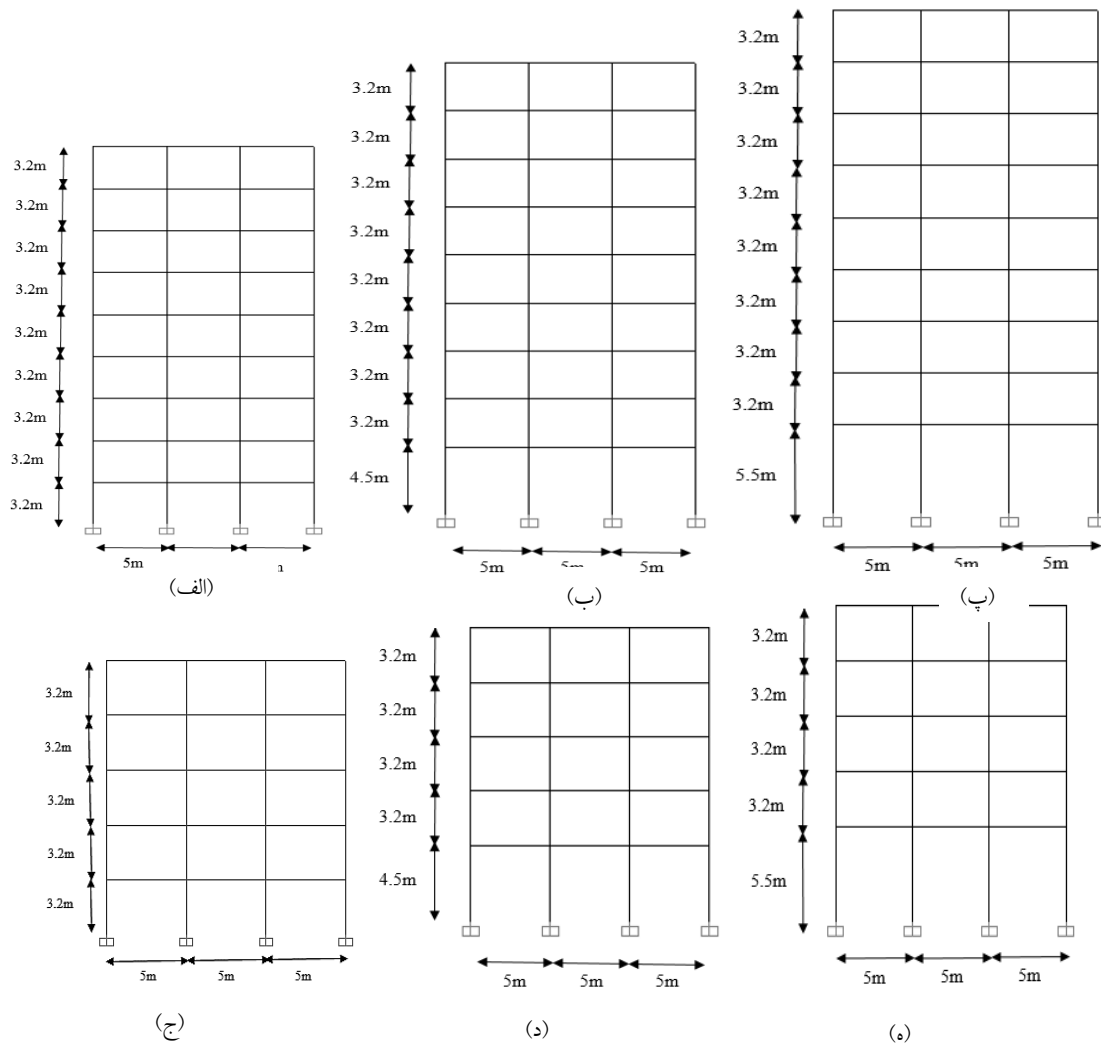


Fig. 3. Modeling regular and irregular structures in the SAP2000 and Opensees software, (a) Regular frame mid-rise (b) Irregular frame mid-rise with ground-level soft story with a height of 4.5 meters (c) Irregular frame mid-rise with a soft ground floor with a height of 5.5 meters (d) Regular frame short-rise (e) Irregular frame short-rise with ground-level soft story with a height of 4.5 (f) Irregular frame short-rise with ground-level soft story with a height of 5.5 meters

جدول (۴) ابعاد سازه میان مرتبه نامنظم با طبقه نرم همکف به ارتفاع ۴/۵ و ۵/۵ متر

Floors	Dimensions of Column	Dimensions of Beam
1	Box 400x400x30	2PL300x29PL492x15
2	Box 400x400x20	2PL300x29PL492x15
3	Box 350x350x30	2PL250x25PL360x10
4	Box 350x350x25	2PL250x25PL360x10
5	Box 350x350x20	2PL250x25PL360x10
6	Box 250x250x30	2PL250x25PL360x10
7	Box 250x250x25	2PL200x20PL360x10
8	Box 200x200x25	2PL200x20PL360x10
9	Box 200x200x10	2PL200x20PL260x8

Table (4): Dimensions of irregular mid-rise structure with a soft ground floor with a height of 4.5 and 5.5 meters

جدول (۳) ابعاد سازه منظم

Floors	Dimensions of Column	Dimensions of Beam
1	Box 600x600x30	2PL300x29PL492x15
2	Box 400x400x30	2PL300x29PL492x15
3	Box 400x400x20	2PL250x25PL360x10
4	Box 300x300x25	2PL250x25PL360x10
5	Box 300x300x20	2PL250x25PL360x10
6	Box 250x250x25	2PL250x25PL360x10
7	Box 250x250x20	2PL200x20PL360x10
8	Box 200x200x25	2PL200x20PL360x10
9	Box 200x200x10	2PL200x20PL260x8

Table (3): The dimensions of the regular structure

جدول (۵) ابعاد سازه کوتاه مرتبه منظم و نامنظم با طبقه نرم همکف به ارتفاع ۴/۵ و ۵/۵ متر

Floors	Dimensions of Column	Dimensions of Beam
1	Box 400x400x25	2PL300x29PL492x15
2	Box 300x300x25	2PL200x20PL360x10
3	Box 250x250x20	2PL200x20PL360x10
4	Box 200x200x20	2PL200x20PL360x10
5	Box 200x200x10	2PL200x20PL360x10

Table (5): Dimensions of regular and irregular short-rise structure with a soft with a height of 4.5 and 5.5 meters

(IM) منحنی‌های IDA ترسیم شد که در شکل‌های (۴ و ۵) نمونه-هایی از این منحنی‌ها نشان داده شده است و برای ترسیم منحنی‌های خلاصه سازی ۱۶٪، ۵۰٪ و ۸۴٪ متناظر با شاخص پراکنندگی (انحراف معیار) و میانه محاسبه و ترسیم شد که در شکل‌های (۶ و ۷) نمونه‌هایی از این منحنی‌ها نشان داده شده است.

شکل (۴) منحنی‌های IDA چندگانه رکوردهای نزدیک گسل قاب خمشی ویژه فولادی نامنظم میان مرتبه (ارتفاع طبقه همکف ۴/۵ متر)

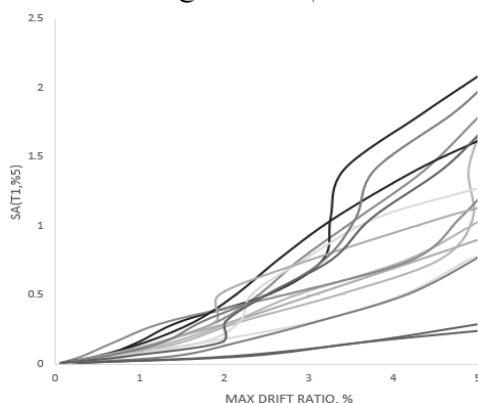


Fig. 4. Multiple IDA curves of near-fault records of irregular mid-rise special moment resistance steel frame (ground floor height of 4.5 meters)

## ۵- انجام تحلیل‌های دینامیکی فزاینده

تحلیل دینامیکی فزاینده برای دو مجموعه قاب خمشی ویژه فولادی تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل صورت پذیرفت. شاخص شدت متناظر با شتاب طیفی مود اول با میرایی ۵٪  $S_a(T_1, 5\%)$  و شاخص خسارت متناظر با ماکزیمم دررفت بین طبقه ای  $(\theta_{Max})$  لحاظ شد و قاب‌ها تحت تحلیل دینامیکی افزایشی قرار گرفت.

### ۵-۱- حالات حدی منحنی‌های دینامیکی فزاینده

بر طبق راهنمای FEMA-350 برای قاب خمشی ویژه فولادی (SMRF) به طبق معیار CP تا نقطه نهایی که مماس محلی به ۲۰٪ شیب الاستیک برسد یا  $\theta_{Max} = 10\%$  هر کدام زودتر روی دهد (بر حسب IM) در نظر گرفته می‌شود.

### ۵-۲- ترسیم و خلاصه سازی منحنی‌های IDA

با انجام تحلیل IDA برای قاب‌های منظم و نامنظم میان مرتبه و کوتاه مرتبه تحت ۱۵ رکورد دور از گسل و ۱۵ رکورد نزدیک گسل و بدست آوردن مقادیر خسارت (DM) در هر تراز شدت

## ۶- منحنی شکنندگی

منحنی شکنندگی از توابع احتمالاتی برگرفته از مقادیر شدت برای حالات مختلف حدی بدست می‌آید. منحنی‌های شکنندگی از تابع زیر حاصل می‌شود [13].

$$F_i(im) = P(D > d_i | IM = im) \quad (1)$$

که در آن  $F_i(im)$  احتمال آسیب بیشتر (D) از یک حالت آسیب خاص ( $d_i$ ) برای شدت حرکت زمین از  $IM=im$  گرفته شده است. پارامتر شدت یک زمین لرزه می‌تواند توسط پیک شتاب زمین (PGA)، پیک سرعت زمین (PGV) و پیک جابه‌جایی زمین (PGA) و ... تعریف شود.

حالت‌های آسیب "I" می‌تواند از هیچ حالت آسیب (i-0) تا حالت آسیب (i-n) متفاوت باشد. با در نظر گرفتن شاخص خسارت معادله ی (۱) به صورت زیر تغییر می‌یابد.

$$F_i(im) = p(DI > di_i | IM = im) \quad (2)$$

که در آن  $di_i$  شاخص آسیب برای حالات آسیب است. با توجه به تابع چگالی احتمال DI یا تابع توزیع تجمعی برای هر "im"  $f_{im}(di)$  و  $F_{im}(di)$  معادله ی (۲) را می‌توان از قضیه احتمالاتی به طریق زیر نوشت:

$$F_i(im) = P(DI > di_i | IM = im) = 1 - \int_{-}^{di_i} f_{im}(di) d(di) \quad (3)$$

مقادیر شکنندگی در هر یک از  $S_a(F_i(S_a))$  توسط تغییر نمادهای معادله (۳) و جایگزینی شاخص توزیع خسارت  $f_{im}(di)$  توسط توزیع نرمال دریفت بین طبقه‌ای  $f(isd) = \Phi[\overline{ISD}_{S_a}, \sigma_{S_a}]$  محاسبه می‌شود. که در اینجا  $\overline{ISD}_{S_a}$  و  $\sigma_{S_a}$  مقادیر میانگین و انحراف معیار دریفت‌ها است.

$$F_i(S_a) = P(D > d_i | S_a = S_a) = 1 - P(D \geq d_i | S_a = S_a) = 1 - \Phi(\overline{ISD}_{S_a}, \sigma_{S_a}) \quad (4)$$

## ۶-۱- ترسیم منحنی شکنندگی

بر طبق این مقاله برای ترسیم منحنی‌های شکنندگی از نرم‌افزار RT برای سطح عملکرد جلوگیری از فروریزش CP استفاده شده است. بر طبق راهنمای FEMA356-273 برای حالت حدی CP دریفت ۵٪ لحاظ شد. محور افقی منحنی شکنندگی متنظر با IM و محور قائم آن متنظر با احتمال فراگذشت خرابی است. همان گونه که در شکل (۸) نشان داده شده است مقدار  $S_a$  متنظر با احتمال فراگذشت خرابی ۱۰٪ سازه منظم میان مرتبه تحت

شکل (۵) منحنی‌های IDA چند گانه رکوردهای دور از گسل قاب خمشی ویژه فولادی نامنظم میان مرتبه (ارتفاع طبقه همکف ۴/۵ متر)

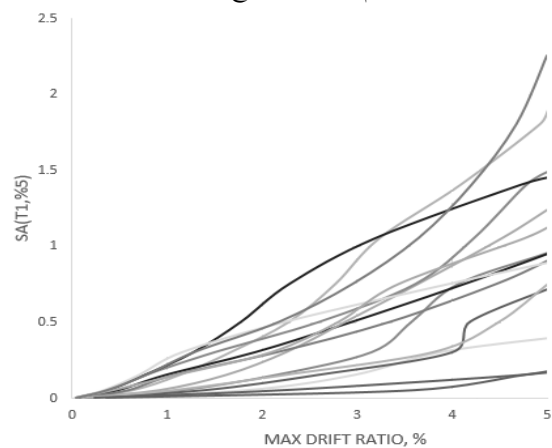


Fig. 5. Multiple IDA curves of far-fault records of irregular mid-rise special moment resistance steel frame (ground floor height of 4.5 meters)

شکل (۶) خلاصه سازی منحنی‌های IDA چند گانه رکوردهای نزدیک گسل قاب خمشی ویژه فولادی نامنظم میان مرتبه (ارتفاع طبقه همکف ۴/۵ متر)

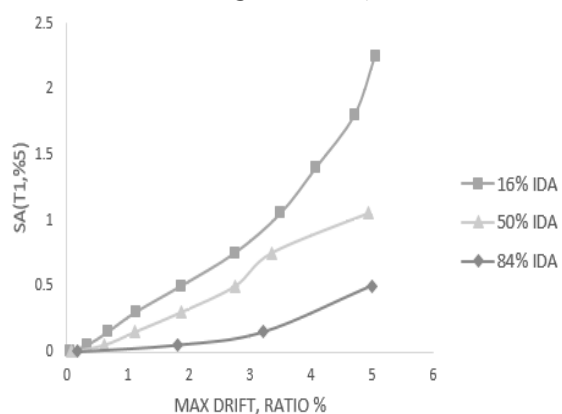


Fig. 6. Summarization of multiple IDA curves of near-fault records of irregular mid-rise special moment resistance steel frame (ground floor height of 4.5 meters)

شکل (۷) خلاصه سازی منحنی‌های IDA چند گانه رکوردهای دور از گسل قاب خمشی ویژه فولادی نامنظم میان مرتبه (ارتفاع طبقه همکف ۴/۵ متر)

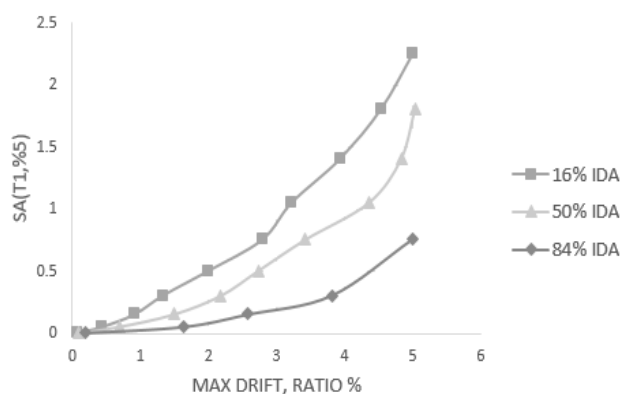


Fig. 7. Summarization of multiple IDA curves of far-fault records of irregular mid-rise special moment resistance steel frame (ground floor height of 4.5 meters)



نامنظم میان مرتبه تحت رکوردهای نزدیک گسل در حالت حدی CP تقریباً یکسان است که نشان دهنده این مطلب است که سازه‌های منظم و نامنظم میان مرتبه تقریباً به صورت همزمان دچار خرابی می‌شوند.

رکوردهای دور از گسل در حالت حدی CP بیشتر از سازه‌های نامنظم میان مرتبه است که نشان دهنده این مطلب است که سازه منظم میان مرتبه نسبت به سازه‌های نامنظم میان مرتبه زودتر دچار خرابی می‌شود.

شکل (۹) منحنی‌های شکنندگی سازه‌های منظم و نامنظم میان مرتبه برای حالت حدی CP تحت رکوردهای نزدیک گسل

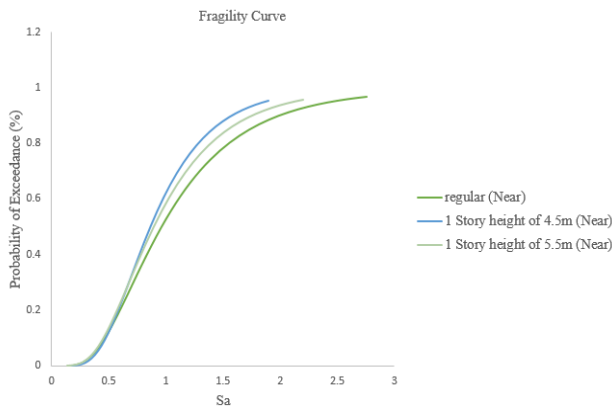


Fig. 9. Fragility curve of regular and irregular mid-rise structures at limit state CP subjected to near-fault records

نتایج حاصل از ترسیم منحنی‌های شکنندگی برای سازه‌های منظم و نامنظم میان مرتبه و کوتاه مرتبه تحت رکوردهای نزدیک و دور از گسل در جدول (۶) نشان داده شده است.

شکل (۸) منحنی‌های شکنندگی سازه‌های منظم و نامنظم میان مرتبه برای حالت حدی CP تحت رکوردهای دور از گسل

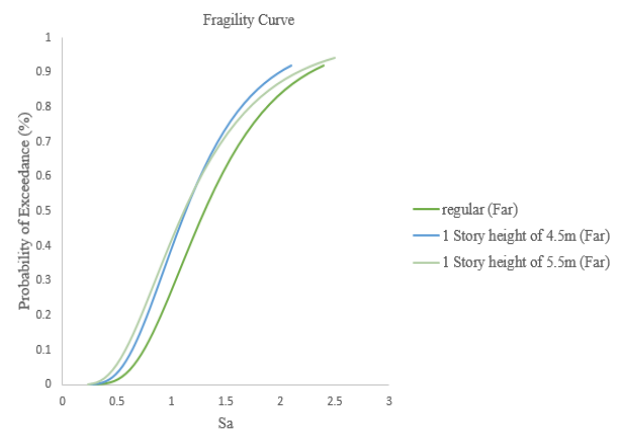


Fig. 8. Fragility curve of regular and irregular mid-rise structures at limit state CP subjected to far-fault records

همچنین همان گونه که در شکل (۹) نشان داده شده است مقدار  $S_a$  متناظر با احتمال فراگذشت خرابی ۱۰٪ سازه‌های منظم و

جدول (۶) نتایج حاصل از ترسیم منحنی شکنندگی متناظر با احتمال فراگذشت خرابی ۱۰٪

Structure	Limit states	Far fault	Near fault
Regular mid-rise	CP	0.759	0.465
Irregular mid-rise soft ground floor with height of 4.5 meters	CP	0.640	0.471
Irregular mid-rise soft ground floor with height of 5.5 meters	CP	0.571	0.45
Regular short-rise	CP	0.731	0.749
Irregular Short-rise soft ground floor with height of 4.5 meters	CP	0.655	0.670
Irregular Short-rise soft ground floor with height of 5.5 meters	CP	0.578	0.626

Table (6) The results of plotting fragility curves corresponding to the failure probability of 10%



## ۷- نتیجه گیری

نتایج حاصل از بررسی قاب میان مرتبه ۹ طبقه با ملاحظه نامنظمی طبقه نرم همکف نشان داد که:

- احتمال خرابی سازه منظم و نامنظم با طبقه نرم تحت رکوردهای نزدیک گسل تقریباً یکسان بوده در حالیکه تحت رکوردهای دور از گسل احتمال خرابی سازه منظم بیشتر از نامنظم و حدود ۷۶ درصد بوده است.

- با افزایش ارتفاع طبقه نرم و متعاقباً نرمتر شدن آن، احتمال خرابی ۱۰ درصد سازه در رکوردهای نزدیک نسبت به دور از گسل کاهش بیشتری داشت. به گونه‌ای که افزایش ارتفاع از ۴/۵ به ۵/۵ متر تحت رکوردهای دور از گسل حدود ۷ درصد و تحت رکوردهای نزدیک گسل حدود ۱,۶ درصد کاهش داشته است.

- احتمال خرابی سازه منظم تحت رکوردهای دور از گسل حدود ۳۰ درصد بیشتر از رکوردهای نزدیک گسل است و احتمال خرابی سازه‌های نامنظم تحت رکوردهای دور از گسل بیشتر از نزدیک گسل است.

- احتمال خرابی سازه نامنظم با طبقه نرم به ارتفاع ۴/۵ متر تحت رکوردهای دور از گسل حدود ۱۲ درصد کمتر از سازه منظم است.

- احتمال خرابی سازه نامنظم با طبقه نرم به ارتفاع ۵/۵ متر تحت رکوردهای دور از گسل حدود ۱۹ درصد کمتر از سازه منظم است.

نتایج حاصل از بررسی قاب کوتاه مرتبه ۵ طبقه با ملاحظه نامنظمی طبقه نرم همکف نشان داد که:

- احتمال خرابی سازه‌های نامنظم با طبقه نرم تحت رکوردهای نزدیک گسل تقریباً یکسان بوده در حالیکه تحت رکوردهای دور از گسل احتمال خرابی سازه نامنظم با طبقه نرم به ارتفاع ۴/۵ متر بیشتر از سازه نامنظم با طبقه نرم به ارتفاع ۵/۵ و حدود ۸ درصد بوده است.

## ۸- مراجع

## References

- [1] Tsai. K.C., Pi Hsiao. Chiang. & Bruneau Michel. 2000 Overview of Building Damages in 921 Chi-Chi Earthquake. Earthquake Engineering and Engineering Seismology.
- [2] Ghosh. S. K. 1995 Observations on the Performance of Structures in the Kobe Earthquake of January 17, 1995. PCI.
- [3] Ahmadzadeh. M. & Shakib H. 2004 On the December 26, 2003, southeastern Iran earthquake in Bam region. Engineering Structures.
- [4] Naseer. Amjad., Naeem Khan. Akhtar., Hussain. Zakir., Ali. Qaisar., & EERI M. 2010 Observed Seismic Behavior of Building in Northern Pakistan During The 2005 Kashmir Earthquake. Earthquake Spectra.
- [5] Ebadi. Parviz., & Maghsoudi Ahmad. 2014 Modification of soft story in steel structures using an equivalent moment frame. Iranian Structural Engineering Association. (In Persian)
- [6] Pall. Avtar., & Pall R Tina. 2004 Performance -Based Design Using Pall Friction Dampers An Economical Design Solution. 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C, Canada August 1-6.
- [7] LEE. Soon-Sik., GOEL. Subhash C., & CHAO Shih-Ho. 2004 Performance-Based Seismic Design Of Steel Moment Frames Using Target Drift And Yield Mechanism. 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C, Canada August 1-6.
- [8] Fredrick C. Dyaa Adrian., Winston. C., & Oretaaa Andres. 2015 Seismic vulnerability assessment of soft story irregular buildings using pushover analysis. Procedia Engineering.
- [9] Beheshti Aval. Seyed Bahram., 2015 Seismic Rehabilitation Of Existing Buildings Theory And Application. University Of Technology Khage Nasire Toosi. (In Persian)
- [10] Next Generation Attenuation of Ground Motions (Nga) Project (2006). <http://Peer.Berkeley.Edu/nga> (Accessed 10 October 2006).
- [11] Baker. Jack W. 2007 Plots of identi\_ed velocity pulses. Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, CA 94305, USA.
- [12] Iranian Code Of Practice For Seismic Resistant Design Of Buildings, Standard No. 2800-05 (4<sup>rd</sup> Edition). 2014. Tehran, Iran, Building and Housing Research Center. (In Persian)
- [13] Soltangharai. V., Razi. M. & Vahdani R. 2016 Seismic Fragility of Lateral Force Resisting Systems under Near and Far-fault Ground Systems under Near and Far-fault Ground Motions. Structural Engineering.
- [14] Hosseini, Seyyed Mojtaba. & Kenarangi Hadi. 2013 Application of Opensees Software in Structural Modeling and Analysis. Azadeh Publications. (In Persian)

# Effect of soft ground story on the collapse possibility of the moment resistance frames under near and far-fault earthquakes

Vahid Saberi<sup>1</sup>, Tahere Salehi Shahrabi<sup>2\*</sup>, Hamid Saberi<sup>1</sup>, Masoud Ahmadvand<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Civil Engineering Faculty, University of Eyvanekey, Semnan, Iran

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, University of Eyvanekey, Semnan, Iran

t.salehi.structure@gmail.com

## Abstract

Soft story in the ground floor is established due to the open space for establishing shops, parking lots or even schools. With regard to the observations of the risks of past earthquakes, such as the 921 Chichi earthquake, Kobe 1995, Bam 2003, and Kashmir 2005, and destructive effects imposed on the soft story, which even caused the collapse of the building. This paper aims to study the effect of near and far fault earthquakes on the two series of mid rise and low rise moment resistance frames. In the both series, a regular frame with the height of 3.2 meter and two irregular frames with soft ground story with the height of 4.5 and 5.5 meters are evaluated. Incremental dynamic analysis is a parametric analysis method that has become common in recent years for estimating the functional level of a complete building under seismic loads. Construction models are created under one or more earthquake records with varying intensity and one or more response curves are produced by the seismic intensity value. The intensity of the records applied on the structure added during analyzes is represented by the parameter IM and the output of the analyzes, which is the response of the construct to the stimulus, with the parameter DM. The IDA curves actually draw the relation between the structure response (DM) to the change in the intensity (IM) of the records. Selected parameters for IM and DM should be well represent the effects of earthquake and structural behavior. The algorithm used for the record scale is a conventional step-by-step algorithm. The step-by-step algorithm can be considered as the easiest way to understand and program. Analyzes continue with increasing levels of IM with equal steps until convergence is achieved (an indication of overall dynamic stability). In this case, the user will only need to select the IM step and the maximum number of dynamic analyzes to get the results. To express the scale level, we need to have a preliminary and temporary selection of IM (which is measurable). After a nonlinear dynamic analysis, one or more curves of the structure response (DM) are obtained in terms of different levels of ground movement (IM). Finally, the performance of the structure is evaluated by defining the extreme states and processing the results using probabilistic relationships. The data obtained from the IDA analysis provides an insight into the behavior of the structure, and is a bridge between the results of the additional static load analysis and the dynamic response

In this paper the parameter of IM corresponding to the maximum of inter-story drift and the parameter of DM corresponding to the spectral acceleration of the first mode ( $T_1$ , 5%)  $S_a$  were considered. In addition, the collapse-preventing performance level of CP was analyzed. The results obtained from the fragility curves in the mode of CP indicate that with the height increase of soft story and consequently becoming softer, the ten percent collapse possibility of mid rise structures in the near fault records was decreased more than far fault ones. However in the low rise structures, it has greater reduction in the far fault records than near fault ones.

**Key words:** Irregular structures, Soft story, Fragility curve, Near and Far fault, Steel moment resistance frames