

# تقاضا و ظرفیت لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی تحت تأثیر زلزله نزدیک گسل با استفاده از تحلیل فراینده دینامیکی

سید ایمان برکاتی<sup>۱</sup>، دکتر فرهاد دانشجو<sup>۲\*</sup>

۱- کارشناس ارشد سازه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

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

Danesh\_fa@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۲۹

**چکیده-** در طراحی بر اساس عملکرد از تحلیل استاتیکی غیرخطی بار افزون و تحلیل دینامیکی فراینده برای تعیین تقاضا و ظرفیت لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی استفاده می‌شود. هر کدام از این روش‌های تحلیل حداقل با دو کمیت (الف) شاخص شدت و (ب) شاخص خسارت مشخص می‌شوند. در روش *IDA* برای زلزله‌های دور از گسل، استفاده از شاخص‌های شدتی مانند شتاب طیفی اولین مود ارتعاش قاب با میرایی پنج درصد توصیه شده است ولی برای زلزله‌های نزدیک گسل در کنار این شاخص ضروریست شاخص‌های شدت مناسب دیگری نیز در نظر گرفته شود. در این مقاله با استفاده از سه قاب خمشی ویژه فولادی که بر اساس آیین‌نامه‌های ایران طراحی شده‌اند، نشان داده شده است که چنانچه منحنی‌های *SPO* و *IDA* برای سازه‌های مفروض در یک دستگاه مختصات رسم شوند تفاوت‌هایی بین حالت استفاده از رکوردهای دور از گسل و نزدیک گسل وجود دارد. همچنین در این مقاله با در نظر گرفتن چند شاخص شدت دیگر که در ارزیابی عملکرد سازه‌های واقع در نزدیکی گسل و یا دور از گسل کاربرد دارند، به مقایسه بین این شاخص‌ها، با استفاده از تعاریف معیارهای "کارایی" و "کفایت" پرداخته شده است. در پایان مشاهده شده که در مقایسه با شاخص شدت مرسوم  $S_d(T_i, 5\%)$  شاخص شدت  $IM_{1182E}$  که مشارکت مد دوم و همچنین اثرات غیر ارتجاعی را در نظر می‌گیرد، بسیار کاراتر و با کفایت‌تر است.

**واژه‌گان کلیدی:** رکوردهای نزدیک گسل، رکوردهای دور از گسل، تحلیل دینامیکی فراینده، تحلیل استاتیکی بار افزون،

شاخص شدت

## ۱- مقدمه

بیشتر مطالعات و پژوهش‌های انجام شده در بحث تحلیل دینامیکی فراینده مربوط به رکوردهای درو از گسل بوده است از این رو مطالعه و بررسی کاربرد این روش تحلیلی برای استفاده از رکوردهای نزدیک گسل ضروری است. در پژوهش‌های Bazzurro, P. & Cornell, C [۱] و [۲]،

در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها بر اساس عملکرد، ظرفیت سازه تحت سطوح مختلفی از زلزله مشخص می‌شود. سپس تقاضای لرزه‌ای سازه تحت تأثیر سطوح مختلف زلزله نباید از ظرفیت‌های متناظر با سطوح عملکرد مختلف بیشتر شود.

برای استفاده از رکوردهای نزدیک گسل، مناسب‌ترین شاخص شدت با توجه به کارایی و کفایت آن برای قاب‌های خمشی ویژه فولادی معرفی می‌شود. همچنین ارتباط بین منحنی‌های استاتیکی بار افزون و دینامیکی فزاینده حاصل از زکوردهای نزدیک گسل نیز برای یک سازه مفروض بررسی می‌شود.

## ۲- مبانی تحلیل دینامیکی فزاینده

روش تحلیل دینامیکی فزاینده IDA شامل مجموعه‌ای از چندین تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی سازه تحت تأثیر زلزله با شدت‌های متفاوت افزایشی است. افزایش شدت زلزله از طریق ضرب اسکالر یک عدد به عنوان ضریب مقیاس در تمامی تاریخچه زمانی شتاب آن زلزله انجام می‌شود. انجام IDA نیاز به انتخاب مناسب شاخص شدت حرکت زمین (IM) و شاخص خرابی (DM) دارد. همچنین تکنیک‌های درون‌یابی و خلاصه‌سازی نیز برای تحلیل‌های دینامیکی فزاینده چندگانه برای برآورد ظرفیت لرزه‌ای احتمالی، نیاز است. بعضی از مزیت‌ها و اهداف روش IDA، درک بهتر از محدوده تقاضای سازه در محدوده‌ای از سطوح پتانسیل یک زلزله، محاسبه ظرفیت دینامیکی کلی سیستم سازه‌ای و محاسبه فراوانی میانگین سالیانه فراگذشت حالات حدی با ترکیب نتایج حاصل از روش IDA با نتایج حاصل از تحلیل خطر لرزه‌ای، اشاره کرد. [۸]

## ۳- مشخصات رکوردهای دور و نزدیک گسل

در این پژوهش از ۱۵ رکورد زلزله دور از گسل و ۱۵ رکورد لرزه نزدیک گسل که از سایت مرکز پژوهش مهندسی زلزله پاسفیک، پایگاه لرزه‌نگاری پیر<sup>۱</sup> [۹] برداشت

[۴] Shome N & Cornell, C, [۳] Jalayer F & Cornell, C [۵] Vamvatsikos D & Cornell, C محققین به تحلیل دینامیکی غیرخطی فزاینده در تخمین عملکرد لرزه‌ای سازه‌های بتنی و فولادی تحت بارهای لرزه‌ای پرداخته‌اند. در این پژوهش‌ها روش تحلیل دینامیکی فزاینده ایزاری انعطاف پذیر در مهندسی زلزله که هم‌زمان قابلیت تخمین نیاز و ظرفیت لرزه را دارد، معرفی شده است. همچنین در این پژوهش‌ها به اصول و مفاهیم پایه روش IDA، روش‌های خلاصه کردن منحنی‌های IDA، تعیین سطوح عملکردی و بحث‌های احتمالاتی مربوط به مقادیر میانگین سالیانه تجاوز حالات حدی و تخمین منحنی‌های IDA با استفاده از منحنی‌های SPO توجه ویژه‌ای شده است.

Sashi K. Kunnath [۶] با بررسی فاکتورهای مختلف شاخص شدت در تحلیل IDA نشان داد شتاب طیفی سازه در مود اول ارتعاش  $Sa(T1,5\%)$  نمی‌تواند نماینده کاملی برای بیان شدت در تولید منحنی‌های IDA باشد. وی شکل پذیری غیر خطی را نماینده مناسبی برای شدت در تحلیل‌های IDA دانسته است.

Vamvatsikos D., Cornell CA [۷] به معرفی شاخص‌های شدت اسکالر و برداری که کارایی بیشتری در تحلیل دینامیکی فزاینده نسبت به  $Sa(T1,5\%)$  و PGA دارند پرداخته‌اند. همچنین روشی برای پیدا کردن پریرود بهینه برای کاهش پراکندگی جواب‌ها به جای پریرود مود اول در شاخص شدت  $Sa(T1,5\%)$  ارائه شده است.

برای زلزله‌های دور از گسل، استفاده از شاخص‌های شدتی مانند شتاب ماکزیمم زمین یا شتاب طیفی اولین مود ارتعاش قاب با میرایی ۵ درصد توصیه شده است ولی برای زلزله‌های نزدیک گسل در کنار این شاخص‌ها ضروریست به کارا بودن شاخص‌های دیگری نیز پرداخته شود. از این رو در این پژوهش با در نظر گرفتن چند شاخص مناسب

1 -<http://peer.berkeley.edu/>

شده است، مطابق جدول‌های ۱ و ۲ استفاده شده است.

جدول (۱) مشخصات لرزه‌ای رکوردهای انتخاب شده برای حوزه دور

از گسل B=USGS (Soil classification)

Earthquake	M <sub>w</sub>	R <sub>close</sub> (Km)	PGA (g)	PGV/PGA	T <sub>p</sub> (Sec)
[1] Northridge	6.7	87.6	0.061	84.5	0.46
[2] Northridge	6.7	144.1	0.064	70.3	0.64
[3] Northridge	6.7	44.7	0.101	102.0	1.48
[4] Northridge	6.7	41.9	0.208	49.5	0.4
[5] Northridge	6.7	31.3	0.239	62.3	2.1
[6] Northridge	6.7	32.3	0.036	88.9	1.1
[7] Northridge	6.7	34.6	0.214	50.5	0.54
[8] Morgan Hill	6.2	30.3	0.044	97.7	1.04
[9] Morgan Hill	6.2	31.4	0.025	96.0	1.4
[10] Landers	7.3	36.1	0.108	86.4	1.68
[11] San Fernando	6.6	66.4	0.071	54.9	0.26
[12] San Fernando	6.6	38.9	0.102	46.1	0.4
[13] Loma Prieta	6.9	43	0.106	83.0	0.5
[14] Loma Prieta	6.9	43.4	0.192	66.1	0.72
[15] Tabas, Iran	7.4	94.4	0.087	65.5	0.32

جدول (۲) مشخصات لرزه‌ای رکوردهای انتخاب شده برای حوزه

نزدیک گسل B=USGS (Soil classification)

Earthquake	M <sub>w</sub>	R <sub>close</sub> (Km)	PGA (g)	PGV/PGA	T <sub>p</sub>
[1] Northridge	6.7	7.1	0.455	204.0	1.98
[2] Northridge	6.7	7.1	0.838	198.2	1.06
[3] Northridge	6.7	2.6	0.511	124.7	1.26
[4] Northridge	6.7	8.9	0.753	112.6	0.8
[5] Northridge	6.7	9.2	0.344	117.5	0.84
[6] Northridge	6.7	8.2	0.433	118.9	0.7
[7] Morgan Hill	6.2	2.6	0.289	95.5	0.74
[8] Morgan Hill	6.2	11.8	0.292	125.6	1.16
[9] Landers	7.3	11.6	0.284	151.6	1.16
[10] San Fernando	6.6	2.49	0.268	96.4	0.88
[11] Kobe	6.9	0.6	0.599	124.1	0.8
[12] Parkfield	6.1	9.9	0.357	60.2	0.38
[13] Loma Prieta	6.9	5.1	0.644	85.6	0.72
[14] Loma Prieta	6.9	13.7	0.332	185.2	1.2
[15] Tabas, Iran	7.4	3	0.852	142.5	4.86

همه‌ی مشخصات رکوردهای نزدیک گسل برای این ۱۵ رکورد نزدیک گسل انتخابی، کنترل شده‌اند تا از نزدیک گسل بودن این رکوردها اطمینان حاصل شود. دسته رکوردهای نزدیک گسل به رکوردهای با ویژگی جهت‌پذیری مستقیم<sup>۱</sup> نیز محدود می‌شوند. همچنین در این پژوهش، مولفه‌های عمود بر جهت گسل هر یک از رکوردهای نزدیک گسل در نظر گرفته شده است.

## ۴- مدل‌سازی رفتار قاب‌ها در نرم‌افزار

### ۴-۱- معرفی قاب‌های مطالعه شده

در این مقاله مدل‌های مطالعه شده سازه‌های فولادی با سیستم باربر جانبی قاب خمشی ویژه است. این سازه‌ها ۳، ۵ و ۸ طبقه و به ترتیب در چهار ارتفاع ۹، ۱۵ و ۲۴ متر در نظر گرفته شده‌اند. بارگذاری جانبی سازه‌ها بر اساس ضوابط مبحث ششم مقررات ملی ساختمان [۱۰] و استاندارد ملی ۲۸۰۰ ایران (ویرایش سوم) [۱۱] انجام شده است و سپس طبق ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [۱۲]، سازه‌ها طراحی شده‌اند. طبقه‌بندی خاک منطقه B و شتاب مبنای حرکت زمین ۰/۳۵g در نظر گرفته شده است. مقادیر پیرو و ضریب برش پایه به دست آمده بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ برای قاب‌های مطالعه شده در جدول ۳ ارائه شده است.

### ۴-۲- مدل‌سازی رفتار غیرخطی اجزاء سازه

در تحلیل‌های غیرخطی از نمودارهای سه‌خطی توصیه شده در FEMA356,273 [۱۳] و [۱۴] که متناظر با نشریه ۳۶۰ سازمان برنامه‌ریزی کشور [۱۵] است، برای هر یک از اجزاء استفاده شده است. برای اجزاء چشمه اتصال نیز مدل Krawinkler در نظر گرفته شده است. کلیه تحلیل‌های غیرخطی اعم از دینامیکی و استاتیکی با نرم‌افزار CSI Perform 3D Ver.4.0.3 انجام شده است. برای انجام مراحل تحلیل طراحی و همچنین برای اطمینان بیشتر و صحت طراحی قاب‌ها از دو نرم‌افزار SAP2000 Version 12.0.0 و ETABS Version 9.5.0 استفاده شد.

جدول (۳) مقادیر پیرو و ضرایب برش پایه به دست آمده بر اساس

استاندارد ملی ۲۸۰۰

سیستم مقاوم سازه‌ای	تعداد طبقات	ارتفاع (متر)	T <sub>1</sub>	R	C=ABI/R
قاب خمشی ویژه	3	9	0&92	10	0&088
	5	15	1&18	10	0&077
	8	24	1&70	10	0&061

1 - forward directivity

## ۵- انجام تحلیل‌های دینامیکی فزاینده

تحلیل‌های دینامیکی فزاینده با استفاده از ۳ قاب خمشی ویژه فولادی طراحی شده و همچنین مجموعه رکوردهای نزدیک گسل و دور از گسل انتخاب شده انجام می‌شود. ابتدا شاخص شدت و شاخص خسارت مناسب انتخاب شده و سپس تحلیل‌های دینامیکی غیر خطی با استفاده از رکوردهای مقیاس شده بروی قاب‌ها صورت گرفته است.

### ۱-۵- انتخاب شاخص شدت و شاخص خسارت

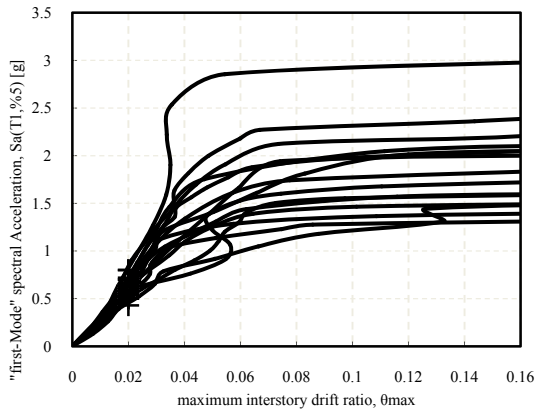
در ابتدا، برای رسم منحنی‌های دینامیکی فزاینده از شاخص شدت، شتاب طیفی مد اول با میرایی پنج درصد  $S_d(T_1, 5\%)$  که ویژگی‌های یک شاخص شدت مطلوب را برای رکوردهای دور از گسل دارد، استفاده می‌شود. همچنین از شاخص خسارت بی‌بعد نسبت بیشینه تغییر مکان نسبی بین طبقه‌ای به ارتفاع طبقه در طول زمان تحلیل تاریخچه زمانی  $(\theta_{max})$ ، که از معیارهای تغییر شکل کلی در سطوح خرابی‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای به شمار می‌آید، استفاده شده است. سپس در بخش ۷ شاخص‌های اسکالر دیگر برای رکوردهای نزدیک گسل بررسی شده‌اند.

### ۲-۵- حالات حدی منحنی‌های دینامیکی فزاینده

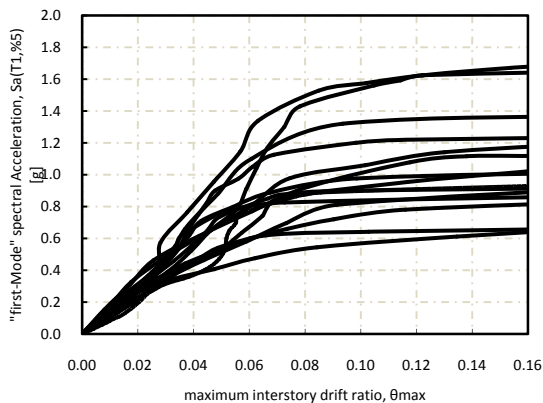
بر اساس راهنمای FEMA-350، برای رکوردهای معمولی ظرفیت سطح عملکرد "استفاده بی وقفه" IO برای یک قاب خمشی ویژه در بیشینه تقاضای تغییر مکان نسبی زاویه ای بین طبقه‌ای  $(\theta_{max}=0.02)$  و ظرفیت سطح عملکرد "جلوگیری از فروریزش" CP را در نقطه‌ای که شیب منحنی دینامیکی فزاینده برحسب  $\theta_{max}$  بیست درصد شیب الاستیک این منحنی باشد و یا در بیشینه تقاضای تغییر مکان نسبی زاویه‌ای بین طبقه‌ای  $\theta_{max}=0.1$  (هر کدام که زودتر در منحنی IDA در IM کوچکتر رخ دهند) در نظر گرفته شده است.

## ۳-۵- ترسیم و خلاصه کردن منحنی‌های IDA

با انجام تحلیل‌های IDA، منحنی‌های دینامیکی فزاینده برای تمامی ۱۵ رکورد دور از گسل و ۱۵ رکورد نزدیک گسل ترسیم شدند. شکل‌های ۱ و ۲ نمونه‌هایی از این منحنی‌ها را نشان می‌دهند.



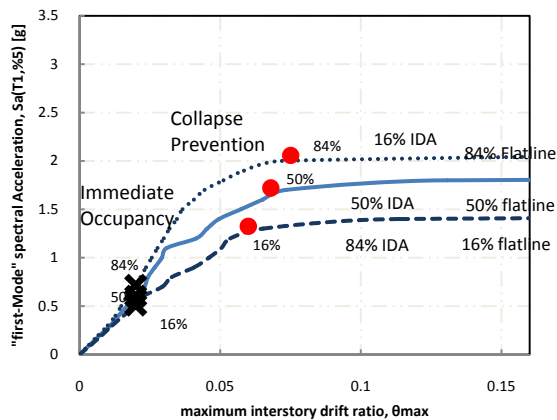
شکل (۱) منحنی‌های IDA چندگانه رکوردهای دور از گسل قاب خمشی ویژه ۳ طبقه به همراه ظرفیت‌های حالات حدی



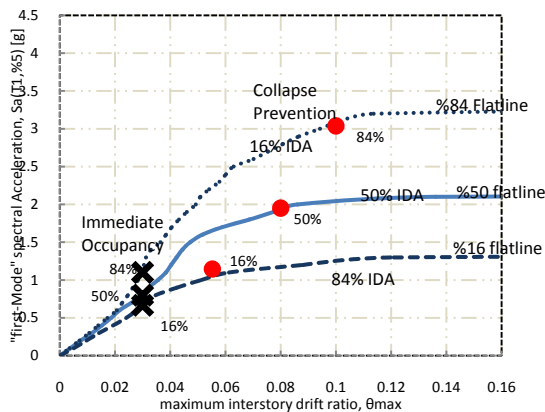
شکل (۲) منحنی‌های IDA چندگانه رکوردهای نزدیک گسل قاب خمشی ویژه ۸ طبقه به همراه ظرفیت‌های حالات حدی

در هر یک از منحنی‌ها IDA مقادیر عددی خسارت (DM) در هر تراز شدت (IM) محاسبه می‌شود. با کنار هم قرار دادن مقادیر خسارت تمام زلزله‌ها، در هر سطح شدت به تعداد منحنی‌های IDA، خسارت وجود دارد.

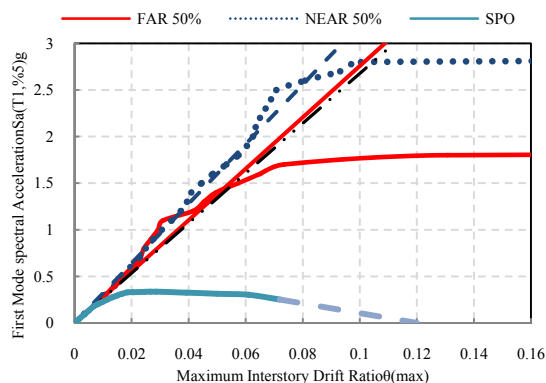
مانند روش ذکر شده برای خلاصه کردن منحنی‌های IDA، مقادیر عددی سطوح عملکرد قابل خلاصه کردن به چند عدد



شکل (۳) منحنی‌های IDA خلاصه شده رکوردهای دور از گسل قاب خمشی ویژه ۳ طبقه و مقادیر میانه ساده (۰.۵٪) و صدک‌های ۱۶٪ و ۸۴٪ ظرفیت‌های حالات حدی



شکل (۴) منحنی‌های IDA خلاصه شده رکوردهای نزدیک گسل قاب خمشی ویژه ۵ طبقه و مقادیر میانه ساده (۰.۵۰٪) و صدک‌های ۱۶٪ و ۸۴٪ ظرفیت‌های حالات حدی



شکل (۵) منحنی پوش‌آور قاب 3SSMRF در مقایسه با منحنی دینامیکی فزاینده دور از گسل و نزدیک گسل همین قاب

میانی به همراه شاخص پراکندگی (انحراف معیار) است. بنابراین مقادیر ۰.۱۶، ۰.۵۰، و ۰.۸۴ را به عنوان مقادیر عددی خسارت (DM<sup>c</sup><sub>16%</sub>, DM<sup>c</sup><sub>50%</sub>, DM<sup>c</sup><sub>84%</sub>) و اعداد (IM<sup>c</sup><sub>16%</sub>, IM<sup>c</sup><sub>50%</sub>, IM<sup>c</sup><sub>84%</sub>) برای شدت در هر سطح عملکرد محاسبه می‌شود.

شکل های ۳ و ۴ نمونه‌هایی از منحنی‌های IDA خلاصه شده برای رکوردهای دور و نزدیک گسل است. در روش تحلیل دینامیکی فزاینده، زمانی که رکوردهای دور از گسل به مقادیر بالا برای نمایش رکورد بسیار قوی مقیاس می‌شوند، در واقع به مانند یک رکورد نزدیک گسل با مقادیر بالای PGA و پالس‌های قوی متعدد می‌مانند. اگر تقاضای جابه‌جایی در اولین پالس بزرگ شتاب رکورد باعث بشود که سازه وارد رفتار غیرخطی شود بعد از آن سختی کاهش پیدا کرده آسیب‌پذیری سازه برای تحمل خسارت‌های بعدی ناشی از بقیه رکورد افزایش پیدا می‌کند. در رکوردهای نزدیک گسل که تنها شامل یک پالس بزرگ در ابتدای رکورد است، احتمال این که سازه تحت یک تقاضای جابه‌جایی مشابه پالس یاد شده قرار گیرد کمتر از رکوردهای دور از گسل است. برای قاب‌های مطالعه شده در این پژوهش تحت رکوردهای نزدیک گسل و دور از گسل مشاهده می‌شود که تقاضای سازه در مقادیر بالای شاخص شدت در رکوردهای دور از گسل بسیار شدیدتر از رکوردهای نزدیک گسل است.

## ۶- مقایسه منحنی‌های IDA و SPO

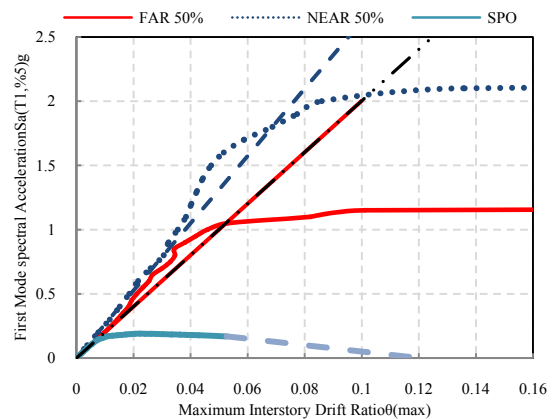
برای بررسی ارتباط بین منحنی تحلیل بار فزاینده و منحنی خلاصه شده (میانه) تحلیل دینامیکی فزایشی چندگانه در قاب‌های مطالعه شده، منحنی SPO، حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی با الگوی بار جانبی بر اساس مود اول و منحنی IDA میانه، حاصل از تحلیل دینامیکی فزاینده برای هر دو دسته رکورد دور از گسل و نزدیک گسل، به صورت هم‌زمان در شکل های ۵ الی ۷ ترسیم شده‌اند.

آغاز می‌شود و هنگامی که منحنی SPO به مقاومت صفر می‌رسد منحنی IDA به ناحیه خطی ثابت می‌رسد. ولی در مورد رکوردهای نزدیک گسل مشاهده می‌شود که ناحیه خطی منحنی IDA میانه حاصل از این رکوردها با قسمت خطی منحنی SPO تطابق کامل ندارد. حتی در زمانی که منحنی SPO شیب منفی را تجربه می‌کند، منحنی‌های IDA کاهش سختی ندارند. در مورد قاب‌های ۳ و ۵ طبقه (سازه‌های با پی‌ود کوتاه) نیز مشاهده می‌شود که منحنی IDA میانه حاصل از رکوردهای نزدیک گسل بالاتر از منحنی‌های IDA حاصل از رکوردهای دور از گسل قرار می‌گیرد ولی در مورد قاب ۸ طبقه این چنین نیست. از دلایل این قضیه می‌توان به تفاوت فاحش بین مقادیر شتاب طیفی در پی‌ودهای کم و متوسط و تفاوت اندک این شتاب‌های طیفی در پی‌ودهای بالا بین حالت نزدیک گسل و دور از گسل اشاره کرد.

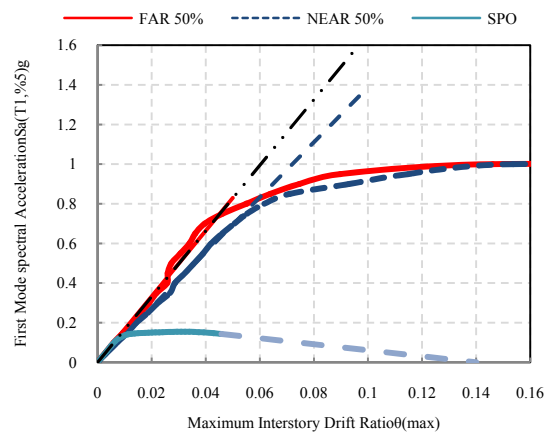
## ۷- شاخص‌های شدت اسکالر ویژه برای رکوردهای نزدیک گسل

در دستورالعمل‌های لرزه‌ای بر مبنای عملکرد مانند (FEMA 350-353) یک چارچوب پیشنهادی برای ارزیابی فراوانی سالیانه میانگین (یا احتمال سالیانه) یک حالت حدی مشخص مثل حالت حدی فروریزش برای سازه‌های مشخص در یک مکان مشخص، ارائه شده است. مرکز تحقیقات مهندسی زلزله پاسیفیک<sup>۱</sup> این چارچوب را نیز به عنوان مبنای ارزیابی عملکرد پذیرفته است.

این چارچوب همان‌گونه که به صورت ریاضی در رابطه ۱ برای حالت حدی ایمنی جانی (Life Safety) نشان داده شده است، با معرفی دو متغیر میانی: ۱- شاخص خسارت سازه، DM، مانند تغییر مکان نسبی، و ۲- شاخص



شکل (۶) منحنی پوش‌آور قاب 5SSMRF در مقایسه با منحنی دینامیکی فزاینده دور از گسل و نزدیک گسل همین قاب



شکل (۷) منحنی پوش‌آور قاب 5SSMRF در مقایسه با منحنی دینامیکی فزاینده دور از گسل و نزدیک گسل همین قاب

در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، در حالیکه هر دو منحنی SPO و IDA محدوده مشابهی از مقادیر DM را نشان می‌دهند ولی همیشه منحنی IDA بالاتر از منحنی SPO قرار می‌گیرد. با مقایسه منحنی SPO و منحنی IDA میانه حاصل از رکوردهای دور از گسل مشاهده می‌شود که ناحیه خطی این دو منحنی به خوبی بر هم منطبق شده‌اند. با کاهش سختی در منحنی SPO کماکان منحنی IDA با شیبی برابر شیب الاستیک افزایش می‌یابد و پس از آن با آغاز شیب منفی بر روی منحنی SPO، کاهش سختی در منحنی IDA

1 - Pacific Earthquake Engineering Research (PEER)/  
http://peer.berkeley.edu

علاوه بر سهولت کاربرد برای استفاده در رابطه ۱ و به دست آوردن  $\lambda[LS]$  از تعاریف معیارهای کارایی و کفایت آن شاخص شدت استفاده می‌شود.

#### ۷-۱-۱- کارایی یک شاخص شدت

یک شاخص شدت کارا از دید یک مهندس سازه شاخصی است که نتایج، پراکندگی نسبی کمتری به ازای یک سطح معین از شاخص شدت داشته باشند که در نتیجه باعث کاهش تعداد تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی و کاهش تعداد رکوردهای لازم برای تخمین  $G[DM|DM]$  با دقت کافی می‌شود.

#### ۷-۱-۲- کفایت یک شاخص شدت

یک شاخص شدت مکفی شاخصی است که شاخص خسارت (پاسخ سازه) را در هر سطح مشخص از شاخص شدت مستقل از پارامترهای رکوردهای زلزله (در این پژوهش، بزرگی زلزله  $M$ ، فاصله از گسل  $R$ ، نسبت پیرو پالس به پیرو اصلی سازه  $T_p/T_1$  و نسبت  $PGV/PGA$ ) ارائه کند. کفایت یک شاخص شدت معیار مطلوبی است، از این جهت که ما را از دقت تخمین  $G[DM|DM]$  و در نتیجه  $\lambda[LS]$  مطمئن می‌سازد. البته باید متذکر شد که اغلب افزایش کارایی یک شاخص شدت باعث بهبود کفایت آن نیز می‌شود.

#### ۷-۲- تعریف شاخص‌های شدت زلزله

در این بخش انتخاب شاخص شدت اسکالر جایگزین که از کارایی و کفایت لازم با توجه به تغییر مکان نسبی قاب‌های خمشی فولادی ویژه که تحت رکوردهای نزدیک گسل و رکورد های دور از گسل قرار گرفته‌اند، بررسی شده است. شاخص‌های شدت در نظر گرفته شده

شدت زلزله،  $IM$ ، مانند شتاب طیفی، مسأله ارزیابی را تفکیک می‌کند و سپس دوباره از طریق انتگرال‌گیری متغیرهای میانی به هم مرتبط می‌شوند.

$$\lambda[LS] = \iint_{DM, IM} G[LS|DM] |dG[DM|IM]| |d\lambda[IM]| \quad (1)$$

$\lambda[LS]$  فراوانی میانگین سالیانه حالت حدی ایمنی جانی را نشان می‌دهد.  $G[LS|DM]$  به احتمال فراگذشت حالت حدی ایمنی جانی از مقدار معین  $DM$  اشاره می‌کند. حالت ایمنی جانی را می‌توان به صورت غیر مستقیم با ظرفیتی هم واحد شاخص خسارت تعریف کرد، که در این حالت به بیان ساده  $G[LS|DM]$  احتمال کمتر بودن این ظرفیت از مقداری مشخص به ازای شاخص شدتی معین است. عبارت  $G[DM|DM]$  به احتمال فراگذشت مقدار  $DM$  از مقدار معین، به شرط اینکه  $IM$  برابر مقداری خاص باشد اشاره می‌کند و به صورت معمول با استفاده از نتایج تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی سازه تحت یک سری رکوردهای زلزله تخمین زده می‌شود که یک روش قابل اطمینان تحلیل دینامیکی افزایشی می‌باشد.  $\lambda[IM]$  فراگذشت میانگین سالیانه شاخص شدت یا به صورت ساده خطر لرزه‌ای است که به وسیله تحلیل احتمالاتی خطر لرزه‌ای محاسبه می‌شود (از منحنی خطر لرزه ای  $IM$  به دست می‌آید).

#### ۷-۱- معیارهای انتخاب یک شاخص شدت مناسب

شاخص شدت زلزله ( $IM$ ) به عنوان یک رابط بین منحنی‌های خطر لرزه‌ای (مثل  $\lambda[IM]$ ) که به وسیله زلزله شناسان فراهم می‌شود و تحلیل‌های سازه‌ای که به وسیله مهندسين سازه حاصل می‌شوند (برای تخمین  $G[DM|DM]$ )، عمل می‌کند. برای انتخاب یک شاخص شدت مناسب

$\theta_{\max}$ ،  $PF_1^{[1]}$ ، به دست می‌آید.

$$IM_{1I} = |PF_1^{[1]}| S_d^I(T_1, \xi_1, d_y) \quad (3)$$

در رابطه بالا و در ادامه،  $S_d^I(T_1, \xi_1, d_y)$  جابه‌جایی طیفی یک نوسانگر الاستو-پلاستیک کامل با پریود  $T_1$  و نسبت میرایی  $\xi_1$  و جابه‌جایی تسلیم  $d_y$  است. به طریقی که در ادامه توضیح داده خواهد شد،  $d_y$  را می‌توان به وسیله یک تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش‌آور سازه محاسبه کرد، هم‌چنین برای محاسبه شکل‌پذیری از رابطه ساده شده  $S_d(T_1, \xi_1)/d_y$  استفاده شده است.

### ۷-۲-۳- شاخص شدت الاستیک مود اول و دوم، $IM_{1E\&2E}$

در حالی که  $IM_{1E}$  و  $IM_{II}$  تنها پاسخ مود اصلی سازه را منعکس می‌کنند، شاخص شدت  $IM_{1E\&2E}$  به صورت تخمینی از  $\theta_{\max}$  با استفاده از دو مود اول سازه و قانون ترکیب مودی SRSS تعریف می‌شود.

$$IM_{1E\&2E} = \sqrt{[PF_1^{[1]} \cdot S_d(T_1, \xi_1)]^2 + [PF_2^{[2]} \cdot S_d(T_2, \xi_2)]^2} \quad (4)$$

### ۷-۲-۴- شاخص شدت غیر الاستیک مود اول و

#### الاستیک مود دوم، $IM_{II\&2E}$

به منظور در نظر گرفتن مشارکت مود دوم علاوه بر مود اول و هم‌چنین آثار غیرخطی، شاخص شدت  $IM_{II\&2E}$  معرفی شده است.

$$IM_{1I\&2E} = \frac{S_d^I(T_1, \xi_1, d_y)}{S_d(T_1, \xi_1)} \cdot IM_{1E\&2E} \quad (5)$$

### ۷-۳- تعریف ضرایب مشارکت، $PF_j^{[k]}$

ابتدا یادآوری می‌شود که  $\theta_i$  تغییر مکان نسبی زاویه‌ای بیشینه مربوط به طبقه  $i$ ام سازه در معرض زلزله است. ضریب

شاخص‌های شدتی است که به وسیله  $Luco$  معرفی شده‌اند [۱۶]، با این تفاوت که در این پژوهش علاوه بر بزرگی زلزله  $M$  و فاصله از گسل  $R$ ، کفایت این شاخص‌های شدت نسبت به پارامترهای دیگر مانند پریود پالس به پریود اصلی سازه  $T_p/T_1$  و نسبت  $PGV/PGA$  برای قاب‌های خمشی ویژه نیز سنجیده شده است. و در انتخاب یک شاخص شدت مناسب باید علاوه بر کارایی و کفایت آن به قابلیت محاسبه  $\lambda[IM]$  (منحنی خطر لرزه‌ای) نیز توجه شود.

### ۷-۲-۱- شاخص شدت الاستیک مود اول زلزله، $IM_{1E}$

شاخص شدت  $IM_{1E}$  تخمین الاستیکی از  $\theta_{\max}$  بر مبنای مود اول سازه است. مانند  $S_d(T_1)$ ،  $IM_{1E}$  تنها مشخصات الاستیک مود اول سازه و یک تحلیل تاریخچه زمانی سازه یک درجه آزادی برای رکورد را در بر می‌گیرد. همان‌گونه که در رابطه ۲ بیان شده است،  $IM_{1E}$  از حاصل ضرب  $|PF_1^{[1]}|$  ضریب مشارکت مود اول سازه برای  $\theta_{\max}$  که در ادامه تعریف می‌شود، و  $S_d(T_1, \xi_1)$ ، جابه‌جایی طیفی الاستیک مود اول برای رکورد، حاصل شده است.

$$IM_{1E} = |PF_1^{[1]}| S_d(T_1, \xi_1) \cong S_d(T_1) \quad (2)$$

### ۷-۲-۲- شاخص شدت غیر الاستیک مود اول، $IM_{II}$

با توجه به اینکه شاخص خسارت بررسی شده تغییر مکان نسبی غیر الاستیک سازه‌ای است، در نظر گرفتن جابه‌جایی طیفی غیر الاستیک به عنوان شاخص شدت به خصوص برای رکوردهای نزدیک گسل که آثار غیرخطی روی جابه‌جایی‌های طیفی قابل توجه است، منطقی است. همان‌گونه که در رابطه ۳ بیان شده است،  $IM_{II}$  از حاصل ضرب جابه‌جایی طیفی غیر الاستیک  $S_d^I(T_1, \xi_1, d_y)$  در ضریب مشارکت مود اول سازه برای

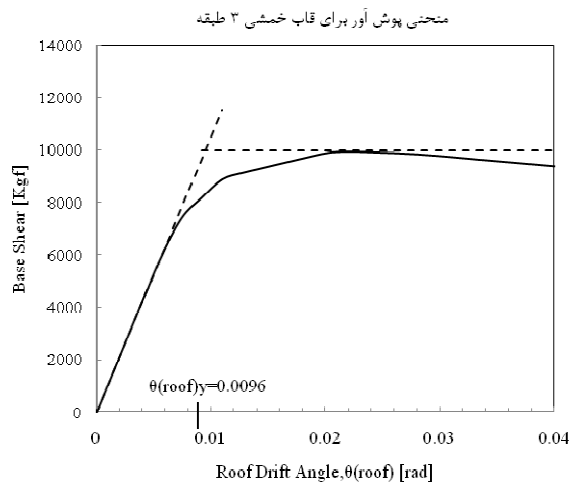


۷-۴- تعریف جابه‌جایی تسلیم،  $d_y$ 

در این پژوهش برای تخمین  $d_y$  از یک مدل دوخطی الاستوپلاستیک کامل برای منحنی برش پایه در برابر تغییر مکان نسبی بام (جابه‌جایی بام تقسیم بر ارتفاع سازه) که از تحلیل پوش آور حاصل می‌شود، استفاده شده است. شیب قسمت الاستیک مدل دو خطی با شیب اولیه منحنی پوش آور برابر است. خط افقی مدل دو خطی به طوری رسم می‌شود که از نقطه ماکزیمم برش پایه بروی منحنی پوش آور عبور کند. نقطه تقاطع دو خط رسم شده تخمینی از  $(\theta_{roof})_y$  است که با استفاده از رابطه زیر به  $d_y$  تبدیل می‌شود.

$$d_y = \frac{(\theta_{roof})_y}{\Gamma_1 \frac{\Phi_{1,n}}{\sum_{i=1:n} h_i}} \quad (9)$$

$\Gamma_1$  و  $\Phi_{1,n}$  و  $h_i$  همان تعاریف قبلی را دارند. به عنوان مثال همان‌گونه که در شکل ۸ نشان داده شده است، مقدار  $d_y$  تخمین زده شده برای قاب 5SSMRF، ۱۰/۵ سانتی‌متر است.



شکل (۸) نمایش روش استفاده شده برای تخمین  $d_y$  از روی منحنی پوش‌آور

پریودها و نسبت‌های میرایی برای دو مود اول و هم‌چنین جابه‌جایی تسلیم مربوط به مود اول هر یک از ۳ قاب

مشارکت مود  $\lambda_m$  برای  $\theta_i$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$PF_j(\theta_i) = \Gamma_j \frac{\Phi_{j,i} - \Phi_{j,i-1}}{h_i} \quad (6)$$

$\Phi_{j,i}$  مولفه بردار شکل مود  $\lambda_m$  و مربوط به طبقه  $i$ ام،  $h_i$  ارتفاع طبقه  $i$ ام (هم‌واحد با جابه‌جایی طیفی) است.  $\Gamma_j$  نیز ضریب مشارکت معمولی است.

با توجه به تعریف  $PF_j(\theta_i)$  طبق رابطه ۶، تخمین الاستیکی از  $\theta_i$  به وسیله قانون جذر مجموع مربعات SRSS با استفاده از  $k$  مود اول به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$\theta_i^{[k]} = \sqrt{\sum_{j=1:k} [PF_j(\theta_i) \cdot S_d(T_j, \xi_j)]^2} \quad (7)$$

$S_d(T_j, \xi_j)$  جابه‌جایی طیفی نواسانگر یک درجه آزادی برای مود  $\lambda_m$  است. در اینجا برای یک مقدار مشخص از  $k$  بزرگترین مقدار  $\theta_i^{[k]}$  (بین تمام طبقات  $i=1:n$ )، به عنوان تخمین الاستیکی (SRSS) از  $\theta_{max}^{[k]}$  اختیار شده و با  $\theta_{max}^{[k]}$  نمایش داده می‌شود.  $\theta_{max}^{[k]}$  به طبقه خاصی متعلق است که آن طبقه را با  $i^{[k]}$  نمایش می‌دهیم. از این جهت ضرایب مشارکت مودی  $PF_j(\theta_{max}^{[k]})$  وابسته به طبقه  $i^{[k]}$  است که به صورت زیر نوشته می‌شوند.

$$PF_j(\theta_{max}^{[k]}) = PF_j(\theta_{i^{[k]}}) \quad (8)$$

$$i^{[k]} = \arg \max_{i=1:n} \theta_i^{[k]}$$

توجه شود که چنانچه  $k > 1$  باشد، از آنجا که  $PF_j(\theta_{max}^{[k]})$  وابسته به مقادیر  $S_d(T_j, \xi_j)$  برای هر یک از  $k$  مود است (در بیان دیگر وابسته به شکل طیف است)،  $PF_j(\theta_{max}^{[k]})$  برای رکوردهای مختلف، متفاوت است.

در پایان  $PF_j(\theta_{max}^{[k]})$  به صورت خلاصه به شکل  $PF_j^{[k]}$  در فرمول‌های شاخص‌های شدت جایگزین مورد استفاده قرار گرفته است.

مطالعه شده در جدول ۴ آورده شده است.

همانگونه که پیش تر بیان شد  $G[DM|DM]$  در رابطه ۱ بصورت معمول برای یک سازه، با استفاده از نتایج شاخص خسارت حاصل از یک سری تحلیل های دینامیکی غیرخطی تحت یک دسته رکورد تخمین زده می شود.

$G[DM|DM]$  را می توان با رگرسیونی گیری از نتایج شاخص خسارت بروی مقادیر متناظر شاخص شدت، همراه با فرض یک نوع توزیع احتمالاتی برای شاخص خسارت در مقابل شاخص شدت معلوم، تخمین زد.

جدول (۴) مشخصات مود اول و مود دوم قاب های خمشی فولادی

مدل قاب	مود اول			مود دوم	
	$T_1(\text{sec})$	$\xi_1$	$d_p(\text{cm})$	$T_2(\text{sec})$	$\xi_2$
3SSMRF	0&93	0&05	0&093	0&26	0&05
5SSMRF	1&18	0&05	0&010	0&42	0&05
8SSMRF	1&70	0&05	0&165	0&60	0&05

## ۷-۵- روش ارزیابی کمی کارایی و کفایت یک شاخص شدت

در این پژوهش از یک رگسیون خطی یک پارامتری در مقیاس لگاریتمی، از مقادیر  $\theta_{max}$  (شاخص خسارت) بروی مقادیر شاخص شدت در ارزیابی کارایی و کفایت هر یک از شاخص های شدت استفاده شده است. مدل رگسیون در رابطه ۱۰ بیان شده است، که  $a$  پارامتری است، که باید تخمین زده شود و  $IM|\varepsilon$  خطای تصادفی در  $\theta_{max}$  به ازای  $IM$  مفروض است.

$$\theta_{max} = a \cdot IM \cdot (\varepsilon|IM) \quad (10)$$

$$\ln(\theta_{max}/IM) = \ln(a) + \ln(\varepsilon|IM)$$

در این حالت کارایی یک شاخص شدت "efficiency"، با استفاده از درجه پراکندگی برازش رگرسیونی اندازه گیری می شود در حالیکه کفایت شاخص شدت "sufficiency" با توجه به تعریف آن بدین طریق اندازه گیری می شود که بعد از رگسیون گیری بروی شاخص شدت و  $\theta_{max}$ ، مانده های

حاصل از تحلیل رگسیون باید از نظر آماری مستقل از پارامترهای حرکت زمین مثلاً بزرگی زلزله  $M$ ، فاصله از گسل  $R$ ، نسبت پرپود پالس به پرپود اصلی سازه  $T_p/T_1$  و نسبت  $PGV/PGA$  باشد. کفایت شاخص شدت را می توان به وسیله مقدار  $p$ -value (که در نرم افزار رگسیون خطی، که در این پژوهش از نرم افزار MiniTab استفاده شده است، گزارش می شود) ارزیابی کرد. از این رو یک  $p$ -value کوچک (مثلاً کمتر از ۰.۰۵) از نظر آماری به این نکته اشاره می کند که شاخص شدت مورد نظر به پارامترهای حرکت زمین وابسته است و لذا آن شاخص شدت کفایت "sufficiency" لازم را ندارد.

در این بخش نیز از دو دسته رکورد دور از گسل و نزدیک گسل که قبلاً معرفی شدند، استفاده شده است. به منظور بررسی سطوح بالاتری از پاسخ غیرخطی، دسته رکوردهای نزدیک گسل در نظر گرفته شده به این صورت مقیاس شده اند که همگی در ضریب ثابت ۲ ضرب شده اند. متناظراً رکوردهای دور از گسل با ضرب در ضریب ثابت ۸ نیز مقیاس شده اند. این ضرایب به این ترتیب انتخاب شده اند که صدک ۸۴م جابه جایی های طیفی الاستیک در پرپود اصلی و میرایی ۵ درصد سه قاب مطالعه شده برای رکورد های نزدیک گسل و دور از گسل یکی شود.

## ۷-۶- مقایسه بین شاخص های شدت $IM_{IE}$ و $IM_{II}$

### برای قاب 3SSMRF تحت رکوردهای نزدیک گسل

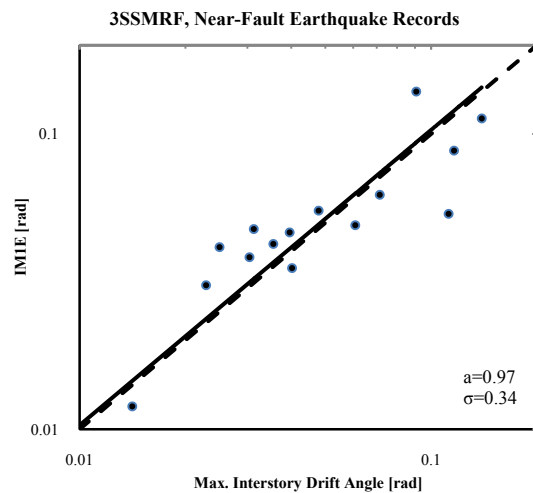
همانگونه که پیش تر بیان شد انتظار می رود که شاخص شدت  $S_a(T_1, 5\%)$ ، یا معادل آن  $IM_{IE}$ ، در مقایسه با شاخص های شدت دیگر زمانی که پاسخ غیر الاستیک سازه های با پرپود متوسط مدنظر است، ناکارا و ناکافی باشند. این ضعف شاخص شدت  $IM_{IE}$  و هم چنین کارایی

رگرسیون  $\theta_{max}$  بروی شاخص شدت  $IM_{IE}$  در شکل ۹ نشان داده شده است ضریب  $\sigma=0.34$  بیان کننده کارایی مناسب این شاخص شدت برای قاب 3SSMRF است که البته این موضوع به علت حاکم بودن مود اول بر رفتار این سازه است. برخلاف  $IM_{IE}$ ، همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد شاخص شدت  $IM_{II}$  آثار غیر ارتجاعی را در نظر می‌گیرد. رگرسیون  $\theta_{max}$  روی شاخص شدت  $IM_{II}$  در شکل ۱۰ نشان داده شده است. پراکندگی کمتر برازش رگرسیون ( $\sigma=0.3$ ) نسبت به شاخص شدت  $IM_{IE}$  نشان دهنده کارایی بیشتر  $IM_{II}$  است. مقدار  $p\text{-value}=0.64$  دلالت بر کفایت بیشتر شاخص شدت  $IM_{II}$  نسبت به شاخص شدت  $IM_{IE}$  دارد. مقایسه دیگر مقادیر  $p\text{-value}$  برای رگرسیون ماندها روی  $M$  و  $PGV/PGA$  در بین این دو شاخص شدت، نیز این امر را اثبات می‌کند (جدول ۵ مراجعه شود).

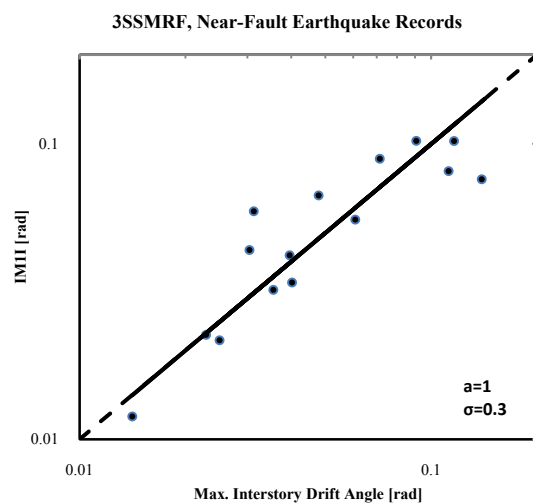
نتایج تحلیل‌های رگرسیون برای چهار شاخص شدت  $IM_{IE}$  و  $IM_{IE\&2E}$  و  $IM_{II}$  و  $IM_{II\&2E}$  در جدول ۵ برای مقایسه بین تمام قاب‌ها و دو دسته رکورد نزدیک گسل و دور از گسل خلاصه شده‌اند.

با توجه به این قبل در اغلب حالات شاخص شدت  $IM_{IE}$  در مقایسه با دیگر شاخص‌های شدت ناکارای و ناکافی است که در نتیجه تعداد زیادی تحلیل دینامیکی غیرخطی و اطلاعات لرزه‌ای بسیاری برای محل تخمین دقیق  $G[DM|IM_{IE}]$  لازم است. ولی در عوض محاسبه منحنی خطر  $\lambda[IM_{IE}]$  بسیار آسانتر است. در مقابل شاخص شدت  $IM_{IE}$  در اغلب حالات شاخص شدت  $IM_{II\&2E}$  کارا و مکفی است و برای رسیدن به تخمین دقیقی از  $G[DM|IM_{IE\&2E}]$ ، به تعداد کمتری تحلیل دینامیکی غیرخطی احتیاج است ولی در عوض محاسبه منحنی خطر  $\lambda[IM_{IE\&2E}]$  دشوارتر است.

و کفایت نسبی شاخص شدت  $IM_{II}$  (که قابلیت غیر ارتجاعی را در نظر می‌گیرد) با استفاده از قاب خمشی فولادی ویژه سه طبقه 3SSMRF تحت رکوردهای نزدیک گسل و دور از گسل بررسی شدند. به عنوان نمونه نتایج تحلیل رگرسیون برای این دو شاخص شدت به صورت گرافیکی در اشکال ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.



شکل (۹) رگرسیون مقادیر  $\theta_{max}$  (حاصل از نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی) بروی شاخص شدت  $IM_{IE}$  برای برآورد کارایی این شاخص شدت



شکل (۱۰) رگرسیون مقادیر  $\theta_{max}$  (حاصل از نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی) بروی شاخص شدت  $IM_{II}$  برای برآورد کارایی این شاخص شدت

جدول (۵) خلاصه نتایج تحلیل های رگرسیون جهت مقایسه کارایی و کفایت شاخص های شدت بین دو دسته رکورد و قاب های در نظر گرفته شده

IM	$\theta(\max)$ on IM		$\epsilon IM$ on M			$\epsilon IM$ on R			$\epsilon IM$ on Tp/T1			$\epsilon IM$ on PGV/PGA		
	a	$\sigma$	c	p-value	$\sigma$	c	p-value	$\sigma$	c	p-value	$\sigma$	c	p-value	$\sigma$
<i>3story SMRF subjected to Far-Fault Earthquake Records</i>														
IM <sub>1E</sub>	0&90	0&14	0&04	0&77	0&15	0&02	0&82	0&15	0&02	0&69	0&15	-0&03	0&87	0&15
IM <sub>1E&amp;2E</sub>	0&88	0&13	0&02	0&88	0&14	0&04	0&63	0&14	-0&01	0&84	0&14	-0&08	0&56	0&14
IM <sub>1I</sub>	0&93	0&13	0&00	0&98	0&14	0&03	0&69	0&14	0&08	0&18	0&13	0&18	0&21	0&13
IM <sub>1I&amp;2E</sub>	0&91	0&13	-0&02	0&86	0&14	0&05	0&51	0&14	0&04	0&48	0&13	0&12	0&39	0&13
<i>3story SMRF subjected to Near-Fault Earthquake Records</i>														
IM <sub>1E</sub>	0&97	0&34	-0&20	0&44	0&34	0&00	0&97	0&35	-0&16	0&33	0&34	-0&18	0&53	0&34
IM <sub>1E&amp;2E</sub>	0&97	0&34	-0&20	0&44	0&34	0&00	0&97	0&35	-0&16	0&33	0&34	-0&18	0&53	0&34
IM <sub>1I</sub>	1&00	0&30	0&03	0&89	0&32	0&03	0&63	0&31	0&07	0&64	0&31	0&04	0&88	0&32
IM <sub>1I&amp;2E</sub>	1&00	0&30	0&03	0&89	0&32	0&03	0&63	0&31	0&07	0&64	0&31	0&04	0&89	0&32
<i>5story SMRF subjected to Far-Fault Earthquake Records</i>														
IM <sub>1E</sub>	1&27	0&35	-0&39	0&19	0&34	-0&45	0&01	0&28	0&36	0&01	0&27	0&29	0&43	0&35
IM <sub>1E&amp;2E</sub>	0&77	0&21	-0&13	0&49	0&22	-0&11	0&38	0&21	-0&02	0&82	0&22	-0&39	0&06	0&19
IM <sub>1I</sub>	1&26	0&41	-0&27	0&45	0&41	-0&42	0&05	0&36	0&49	0&00	0&27	0&44	0&30	0&41
IM <sub>1I&amp;2E</sub>	0&77	0&24	0&00	0&99	0&25	-0&08	0&57	0&25	0&10	0&32	0&24	-0&25	0&34	0&24
<i>55story SMRF subjected to Near-Fault Earthquake Records</i>														
IM <sub>1E</sub>	1&01	0&42	-0&05	0&87	0&44	-0&04	0&66	0&43	-0&10	0&62	0&43	0&28	0&45	0&43
IM <sub>1E&amp;2E</sub>	0&80	0&34	-0&31	0&24	0&34	-0&02	0&77	0&35	-0&35	0&02	0&29	-0&54	0&05	0&31
IM <sub>1I</sub>	1&14	0&27	0&14	0&49	0&27	0&06	0&24	0&26	0&03	0&84	0&27	0&10	0&66	0&27
IM <sub>1I&amp;2E</sub>	0&91	0&19	0&15	0&28	0&18	-0&01	0&88	0&19	-0&01	0&93	0&19	-0&07	0&65	0&19
<i>8story SMRF subjected to Far-Fault Earthquake Records</i>														
IM <sub>1E</sub>	1&29	0&37	-0&04	0&9	0&38	-0&46	0&01	0&3	0&24	0&12	0&34	-0&03	0&94	0&38
IM <sub>1E&amp;2E</sub>	1&04	0&15	0&08	0&52	0&15	-0&05	0&56	0&15	0&09	0&13	0&14	-0&06	0&69	0&15
IM <sub>1I</sub>	1&45	0&35	-0&09	0&77	0&36	-0&35	0&07	0&32	0&10	0&52	0&36	0&05	0&89	0&36
IM <sub>1I&amp;2E</sub>	1&17	0&26	0&08	0&72	0&27	0&07	0&63	0&26	-0&03	0&79	0&27	0&00	1&00	0&27
<i>8story SMRF subjected to Near-Fault Earthquake Records</i>														
IM <sub>1E</sub>	1&77	0&41	-0&20	0&54	0&42	0&06	0&45	0&42	-0&39	0&04	0&36	0&16	0&66	0&42
IM <sub>1E&amp;2E</sub>	1&44	0&33	0&14	0&57	0&33	0&05	0&46	0&33	-0&18	0&25	0&32	0&28	0&30	0&32
IM <sub>1I</sub>	1&77	0&29	-0&05	0&83	0&29	0&02	0&76	0&29	-0&12	0&37	0&28	0&37	0&10	0&26
IM <sub>1I&amp;2E</sub>	1&45	0&27	0&00	1&00	0&27	0&03	0&61	0&27	-0&16	0&20	0&25	0&10	0&64	0&27

## ۸- نتیجه گیری

مقادیر بیشینه تقاضای تغییرمکان نسبی زاویه‌ای بین طبقه‌ای (بالا) مقدار پراکندگی نتایج بیشتر شده و سازه بیشتر تحت تأثیر رکوردهای ورودی قرار می‌گیرد.

سازه‌های مطالعه شده در بیشینه تقاضای تغییرمکان نسبی زاویه‌ای بین طبقه‌ای کمتر از ۰/۰۸ به ناپایداری دینامیکی می‌رسند (خطوط صاف در منحنی‌های IDA) که با نتایج دیگر پژوهش‌ها از جمله ATC همخوانی دارد.

با بررسی منحنی‌های دینامیکی فزاینده برای ۳ نوع قاب مطالعه شده تحت دسته رکوردهای دور از گسل و نزدیک گسل مشاهده شده است که طول ناحیه رفتار خطی در رکوردهای نزدیک گسل بیشتر از رکوردهای دور از گسل است و مقدار پیشنهادی  $\theta_{\max}=0.02$  برای سطح عملکردی

با رسم منحنی‌های دینامیکی فزاینده برای قاب‌های مطالعه شده در این پژوهش در مختصات  $Sa(T1,5\%)$  و  $\theta_{\max}$  با استفاده از رکوردهای دور از گسل و نزدیک گسل نتایج زیر حاصل شده‌اند:

با افزایش ارتفاع و پیروید سازه‌ها و مقایسه منحنی‌های میانه دینامیکی فزاینده، مقدار شاخص شدت شتاب طیفی قابل تحمل سازه‌ها کاهش می‌یابد.

با افزایش ارتفاع و پیروید سازه‌ها، مقدار تقاضای متناظر با شروع ناپایداری کلی (شروع خط صاف در منحنی IDA) کاهش می‌یابد.

هرچه سازه‌ها بیشتر وارد مرحله غیرخطی می‌شوند (در

در مقایسه با شاخص شدت مرسوم  $Sa(T1, 5\%)$  (یا معادل آن IM1E)، نشان داده شد که شاخص شدت IM1I&2E که مشارکت مد دوم و همچنین آثار غیر ارتجاعی را در نظر می‌گیرد، بسیار کاراتر و با کفایت تر است. از کفایت و کارایی شاخص شدت IM1I&2E می‌توان نتیجه گرفت که چنانچه از این شاخص شدت استفاده شود، احتیاجی نیست که رکوردهای نزدیک گسل را حالت خاصی در نظر بگیریم.

## ۹- مراجع

- [1] Bazzurro, P. and Cornell, C. A, "Seismic hazard analysis for non-linear structures. I:Metodology" ASCE Journal of Structural Engineering, 120(11): 3320-3344, 1994.
- [2] Bazzurro, P. and Cornell, C. A, "Seismic hazard analysis for non-linear structures. II:Applications" ASCE Journal of Structural Engineering, 120(11): 3345-3365, 1994.
- [3] Cornell C. A Jalayer F, Hamburger RO, Foutch DA, "The probabilistic basis for the 2000 SAC/FEMA steel moment frame guidelines".
- [4] Shome N, Cornell, CA, "probabilistic seismic demand analysis of nonlinear structures" Report No. RMS-35,RMS program, Stanford University, 1999.
- [5] Vamvatsikos, D., Cornell CA, "Incremental Dynamic Analysis" Earthquake Engineering and Structural Dynamics 31(3), 491-514, 2002.
- [6] Sashi K. Kunnath, "IDA Capacity Curves: The Need for Alternative Intensity Factors" ASCE Journal of Structural Engineering, 120(11): 3320-3344, 1994.
- [7] Vamvatsikos D., Cornell CA, "Developing efficient scalar and vector intensity measures for IDA capacity estimation by incorporating elastic spectral shape information" Earthquake Engng Struct. Dyn.; 34:1573-1600, 2005.
- [8] Bazzurro, P. and Cornell, C. A, "Seismic hazard analysis for non-linear structures. I:Metodology" ASCE Journal of Structural Engineering, 120(11): 3320-3344, 1994.

سکونت فوری در این رکوردها مقدار دست پایی است، از این جهت مقدار  $\theta_{max}=0.03$  برای سطح عملکردی سکونت فوری در رکوردهای نزدیک گسل در نظر گرفته شده است. همچنین مشاهده می‌شود که سختی الاستیک(شیب ناحیه رفتار خطی) منحنی‌های نزدیک گسل بیشتر از منحنی‌های رکوردهای دور از گسل است که نشان دهنده رفتار ترد و سخت‌تر قاب‌ها در برابر این نوع رکوردها است. پراکنندگی منحنی‌های دینامیکی فزاینده در رکوردهای نزدیک گسل بیشتر از رکوردهای دور از گسل میباشد که این موضوع دلیلی بر عدم کارایی شاخص شدت شتاب طیفی مود اول با میرایی پنج درصد برای سازه‌های تحت رکورد های نزدیک گسل است.

تقاضای سازه در مقادیر بالای شاخص شدت در رکوردهای دور از گسل بسیار شدیدتر از رکوردهای نزدیک گسل است.

در حالی‌که هر دو منحنی SPO و IDA محدوده مشابهی از مقادیر DM را نشان می‌دهند ولی همیشه منحنی IDA بالاتر از منحنی SPO قرار می‌گیرد. یکی از دلایل آن می‌تواند این موضوع باشد که برش پایه محاسبه شده در منحنی SPO از روش تحلیل غیرخطی حاصل شده ولی شتاب طیفی مود اول سازه با میرایی ۵ درصد که به عنوان شاخص شدت در منحنی IDA استفاده شده است، از طیف شتابی که از تحلیل خطی حاصل شده است، به دست می‌آید.

با مقایسه منحنی SPO و منحنی IDA میانه در مورد رکوردهای نزدیک گسل مشاهده می‌شود که ناحیه خطی منحنی IDA میانه حاصل از این رکوردها با قسمت خطی منحنی SPO تطابق کامل ندارد. حتی در زمانی که منحنی SPO شیب منفی را تجربه می‌کند، منحنی‌های IDA کاهش سختی ندارند.

- [13] Federal Emergency Management Agency, "NEHRP GUIDELINES FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS", FEMA 273.
- [14] Federal Emergency Management Agency, "PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS", FEMA 356.
- [15] نشریه ۳۶۰، "دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان های موجود"، انتشارات سازمان مدیریت برنامه ریزی کشور، تهران، ایران، ۱۳۸۵
- [16] Nicolas Luco and C. Allin Cornell, "Structure-Specific Scalar Intensity Measures for Near-Source and Ordinary Earthquake Ground Motions", Dept. of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, CA 94305-4020, 2002.
- [9] Next Generation Attenuation of Ground Motions (Nga) Project (2006). <http://peer.berkeley.edu/nga/> (Accessed 10 October 2006).
- [۱۰] مقررات ملی ساختمان، مبحث ششم، "بارهای وارد بر ساختمان"، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، تهران، ایران، ۱۳۸۴.
- [۱۱] استاندارد ملی ۲۸۰۰ ایران، "آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله"، ویرایش سوم، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ایران، ۱۳۸۴.
- [۱۲] مقررات ملی ساختمان، مبحث دهم، "طرح و اجرای ساختمان های فولادی"، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، تهران، ایران، ۱۳۸۷.

# Seismic Demand and Capacity of Steel Moment Resisting Frames Under Near-Fault Earthquakes Using Incremental Dynamic Analysis

S.I. Barakati<sup>1</sup>, F. Daneshjoo<sup>2\*</sup>

1-Structural MSc Student, Tarbiat Modares University, Tehran

2- Professor of Civil and Environmental engineering faculty, Tarbiat Modares University, Tehran

Danesh\_fa@modares.ac.ir

## Abstract:

In seismic performance based design procedures, nonlinear static pushover analysis (SPO) and incremental dynamic analysis (IDA) are usually used for determining seismic demand and capacity of moment resisting frames (SMR). The results of these methods are often presented using curves of intensity measures (IM) Vs damage indexes (DI).

For far field earthquakes, different intensity measures, such as acceleration spectral intensity of the first mode of vibration with 5% damping i.e.  $S_a(T_1, \%5)$  factor are used. But

In this article, the for near field earthquakes, it is necessary to consider other suitable IM's. difference between IDA and SPO curves for near field earthquakes compared to that for far field earthquakes are shown for three SMR frames which are designed according to Iranian code of practice using 15 pairs of near and far field earthquakes. Then some other intensity measure factors which may be suitable for near and far field earthquakes, are considered. These IM's are compared with the use of standard definitions of "efficiency" and "sufficiency". It is concluded that intensity measure  $IM_{1I\&2E}$  which considers second mode effects and nonlinear behavior, is much more efficient and better sufficient than more often used  $S_a(T_1, \%5)$  factor.

**Keywords:** Near and far field earthquakes, Intensity measures, Nonlinear static pushover analysis, Incremental dynamic analysis.