



## کارایی روش انتخاب شتابنگاشت برای گروه سازه‌ها در تخمین پاسخ دینامیکی قاب‌های خمشی فولادی نامنظم در ارتفاع

میلاذ مولوی\*، محسن غفوری آشتیانی، سالار آرین مقدم  
پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۷ اردیبهشت ۱۳۹۶  
بازنگری: ۳۰ دی ۱۳۹۷  
پذیرش: ۱ آبان ۱۳۹۶  
ارائه آنلاین: ۲۹ آبان ۱۳۹۶

### کلمات کلیدی:

تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی  
انتخاب شتابنگاشت‌ها  
پارامترهای تقاضای مهندسی  
نامنظمی‌های موجود در ارتفاع سازه‌ها  
قاب‌های خمشی فولادی

**چکیده:** افزایش محبوبیت تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی در سال‌های اخیر را می‌توان مرهون کاهش هزینه محاسباتی تحلیل سازه از یک سو و رونق گرفتن دیدگاه مبتنی بر چارچوب مهندسی زلزله عملکردی از دیگر سو دانست. یک گام حیاتی جهت انجام فرایند استاندارد تحلیل تاریخچه زمانی مرحله انتخاب و آماده‌سازی ورودی‌های تحلیل، یعنی، نگاشت‌های شتاب حرکت زمین خواهد بود. جدا از تنوع ذاتی موجود در این روش‌ها می‌توان ادعا کرد که تمامی آن‌ها محدودیت مشترکی را یکدک می‌کنند. به عبارت دیگر روش‌های پالایش یا انتخاب نیازمند پذیرش سطحی از ساده‌سازی در هنگام معادل‌سازی یک مدل غیرخطی از سیستم‌های دینامیکی چنددرجه آزاد هستند. فرض اخیر گرچه ممکن است در مورد سازه‌های منظم و فارغ از هرگونه پیچیدگی در نحوه توزیع جرم، سختی و مقاومت قابل قبول تلقی گردد، برای کاربرد در سازه‌های پیچیده‌تر نیازمند مطالعات تکمیلی است. هدف از مطالعه جاری بررسی امکان استفاده از روش انتخاب بهینه شتابنگاشت‌ها بر مبنای تحلیل دینامیکی فزاینده (IDA) در تخمین پاسخ‌های دینامیکی قاب‌های خمشی فولادی نامنظم در ارتفاع است. بدین منظور، گروهی از قاب‌های خمشی فولادی یک‌دهانه که دارای تنوعی از ارتفاع هستند و به لحاظ مقاومت و/یا سختی در زمره سازه‌های نامنظم در ارتفاع قرار می‌گیرند، انتخاب شده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که شکل‌پذیری سازه‌ها در عملکرد زیرمجموعه شتابنگاشت‌های پیشنهاد شده توسط روش مورد بررسی در تخمین پارامترهای پاسخ مورد مطالعه کاملاً تاثیرگذار است. همچنین، زیرمجموعه‌های پیشنهاد شده لزوماً دارای بهترین عملکرد نسبت به سایر شتابنگاشت‌های مجموعه مرجع نبوده‌اند. این پدیده را می‌توان به عدم وقوع فروریزش در اغلب سازه‌های مورد بررسی نسبت داد.

### ۱- مقدمه

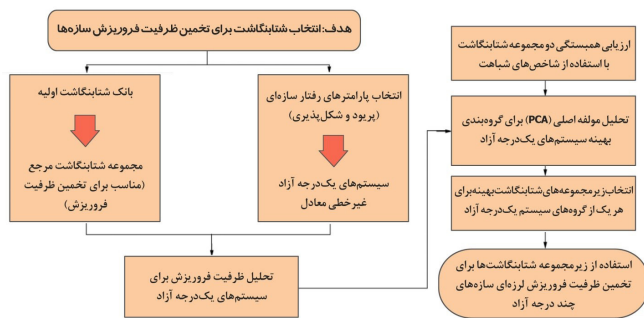
شتابنگاشت‌های ویژه سازه مورد ارزیابی، یکی از تلاش‌هایی است که قصد دارد تعداد شتابنگاشت‌های لازم جهت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی را در کنار حفظ دقت و قابل اتکا بودن تخمین‌های حاصله در سطح قابل قبولی، تا حد امکان کاهش دهد [۵]. ایده گروه‌بندی سازه‌ها براساس مشخصات دینامیکی و انتخاب بهینه شتابنگاشت‌های مورد نیاز از یک مجموعه مرجع مناسب برای هر کدام از این گروه‌ها جهت تخمین ظرفیت فروریزش سازه‌ها بر مبنای تحلیل دینامیکی فزاینده (IDA) در سال ۲۰۱۰ توسط غفوری آشتیانی و همکاران مطرح شد [۶]. در شکل ۱ خلاصه‌ای از مراحل انجام این روش پیشنهادی نمایش داده شده است.

شایان ذکر است، کلیه روش‌های سازه-محور برای تقلیل تعداد شتابنگاشت‌های مورد نیاز به فرض سازگاری مجموعه مرجع با ویژگی‌های لرزه شناختی ساختگاه صورت می‌پذیرد. امکان استفاده از این روش جهت تخمین پاسخ‌های دینامیکی قاب‌های خمشی فولادی منظم در ارتفاع، توسط نگارندگان مورد سنجش قرار گرفته است [۷]. براساس نتایج پژوهش مورد اشاره، تعمیم کارایی مجموعه شتابنگاشت‌های منتخب جهت تخمین قابل اطمینان ظرفیت فروریزش یک سازه به سایر سطوح عملکردی همواره قابل قبول نیست. از آنجا که عملکرد یک سازه قاب خمشی تحت تاثیر وجود

انتخاب تعداد محدود اما کافی شتابنگاشت، مرحله مهمی در فرایند ارزیابی عملکردی سازه‌های مهندسی با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی است. با آگاهی از نقش مشخصات جنبش نیرومند زمین بر تحریک دینامیکی سیستم‌های سازه‌ای؛ ضوابط و دستورالعمل‌های مختلفی سعی در معرفی مجموعه شتابنگاشت‌های از پیش تعیین شده جهت انجام تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی پرداخته‌اند [۱ و ۲]. اگرچه در استانداردهای طرح لرزهای پیشنهادی جهت تعیین حداقل تعداد لازم شتابنگاشت برای انجام این نوع تحلیل وجود دارد [۳]، با این وجود، نسل جدید از روش‌های مبتنی بر ارزیابی عملکردی سازه‌ها، بر قابل اتکا بودن و نداشتن تمایل آماری تخمین‌های تقاضا و ظرفیت سازه‌ای تاکید دارند. علاوه بر این، با توجه به منابع عدم قطعیت در شتابنگاشت‌های ثبت شده، اولین قضاوت مهندسی بر اساس این ایده مبتنی است که؛ هر چه تعداد شتابنگاشت‌های انتخاب شده بیشتر باشد، تخمین‌های قابل اتکاتری حاصل می‌شوند [۴]. اگرچه، این ایده با توجه به زمان‌بر بودن تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی، کاربردی نیست. انتخاب

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: milad.molavi@stu.iiees.ac.ir

مطالعه قرار گرفته‌اند. در بخش سوم به جزئیات بیشتری در مورد نحوه طراحی این سازه‌ها پرداخته شده است. یک مجموعه مرجع که شامل ۴۴ شتابنگاشت حوزه دور می‌باشد برای انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی استفاده شده است. مقیاس‌سازی این شتابنگاشت‌ها جهت انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی به گونه‌ای انجام شده است که مقدار پاسخ شتاب طیفی هر کدام از آن‌ها در پیوند مود اول سازه مورد تحلیل منطبق با مقدار متناظر در طیف هدف شود. اطلاعات مربوط به زیرمجموعه شتابنگاشت‌های پیشنهادی روش انتخاب بهینه شتابنگاشت‌ها برای گروه‌های مختلف سازه‌ای با توجه به مشخصه پیوند مود اول آن‌ها در جدول پ-۱ موجود است.



شکل ۱: مراحل انتخاب بهینه شتابنگاشت‌های مورد نیاز از یک مجموعه مرجع مناسب، براساس ایده گروه‌بندی سازه‌ها براساس مشخصات دینامیکی [۱۶]

Fig. 1. Steps of Strong ground motion record selection for the reliable prediction of the mean seismic collapse capacity of a structure group

## ۲- مدل‌های سازه‌ای مورد استفاده در این مطالعه

مدل‌های سازه‌ای مورد استفاده در این مطالعه شامل یک گروه قاب خمشی دو بعدی فولادی یک‌دهانه می‌باشند. این گروه از قاب‌ها که در ادامه به آن‌ها قاب‌های نامنظم در ارتفاع و یا به اختصار قاب‌های نامنظم خواهیم گفت، با اعمال نامنظمی در سختی، مقاومت و ترکیبی از هر دو در ارتفاع سازه‌های منظم مرجع به دست آمده‌اند.

مدل‌های سازه‌ای منظم مرجع در این مطالعه، به صورتی طراحی شده‌اند که تغییرات سختی و مقاومت در طبقات آن‌ها به شکل تدریجی باشد [۷]. این قاب‌ها به صورت ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ طبقه و در دو نوع رفتار دینامیکی سخت و نرم به ترتیب دارای پیوند مود اول ۱/۰ و ۲/۰ برابر تعداد طبقات، به گونه‌ای طراحی شده‌اند که در هنگام قرار گرفتن در معرض بار جانبی دارای الگوی بار معادل استاتیکی مطابق با ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ [۹]، نسبت دریافت طبقات مختلف آن‌ها به طور تقریبی یکسان شوند. جرم هر طبقه ۲۰ تن، ارتفاع هر طبقه ۳/۵ متر و عرض دهانه قاب‌ها ۷ متر در نظر گرفته شده است. در طراحی این قاب‌ها فلسفه تیرضعیف-ستون قوی لحاظ گردیده است و مفاصل متمرکز پلاستیک صرفاً در انتهای تیرها و همچنین پای ستون‌های طبقه اول مدل شده‌اند. با توجه به این رویکرد، مفروض است که ستون‌های

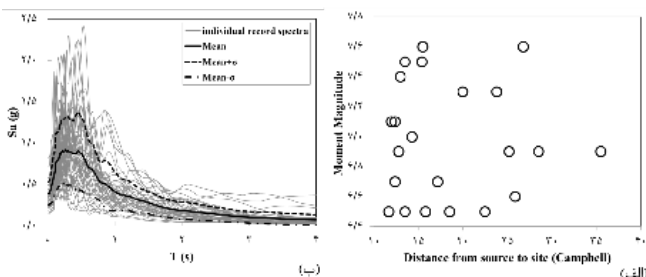
نامنظمی در ارتفاع خود قابل تغییر است، در این مقاله الگوی نامنظمی به عنوان عاملی که به صورت بالقوه فرضیات ساده‌کننده در روش انتخاب شتابنگاشت را زیر سوال خواهد برد مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادبیات فنی مهندسی زلزله، سابقه پرنگی در زمینه تلاش برای توصیف عملکرد سازه‌های نامنظم وجود دارد [۸]. در این پژوهش‌ها الگوهای مختلف از نامنظمی‌های محتمل که با تعاریف استانداردهای طرح لرزه‌ای از سازه‌های منظم همخوانی ندارند، به کار گرفته شده‌اند. بیشتر این استانداردها، سازه‌های منظم را بر اساس وضع محدودیت‌هایی بر چگونگی توزیع جرم، سختی و مقاومت در ارتفاع سازه‌ها تعریف کرده‌اند. به طور مثال در استاندارد ۲۸۰۰ [۹]، حد نهایی نامنظمی طبقه نرم به گونه‌ای تعیین شده است که سختی جانبی هر طبقه کمتر از ۶۰٪ سختی جانبی طبقه روی خود و یا کمتر از ۷۰٪ متوسط سختی‌های جانبی سه طبقه روی خود باشد. پژوهش‌های انجام شده در این زمینه اگرچه اطلاعات ارزشمندی درباره رفتار سازه‌های نامنظم در اختیار محققین قرار داده‌اند، اما، به علت داشتن فرضیات و رویکردهای متفاوت در مدل‌سازی و تحلیل، تعمیم دستاوردهای آن‌ها به سازه‌های متفاوت با مدل‌های سازه‌ای مورد استفاده در آن پژوهش‌ها دشوار خواهد بود [۱۰]. با توجه به اینکه مطالعه در زمینه تاثیر نامنظمی در ارتفاع سازه‌ها بر عملکرد لرزه‌ای آن‌ها هدف از مطالعه حاضر نیست، خوانندگان می‌توانند جهت دستیابی به اطلاعات بیش‌تر در این زمینه به مراجع [۸ و ۱۱] مراجعه نمایند. اثر وجود نامنظمی در ارتفاع سازه‌ها، بر عملکرد روش‌های انتخاب شتابنگاشت‌ها برای تخمین پاسخ دینامیکی سازه‌ها یکی از چالش‌های موجود در زمینه استفاده از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی است. آراین مقدم و غفوری آشتیانی [۴] نسبت به ارزیابی عملکرد روش گروه‌بندی شتابنگاشت‌ها در تخمین ظرفیت فروریزش قاب‌های فولادی نامنظم در ارتفاع اقدام نموده‌اند. بر اساس نتایج مطالعه مذکور، نامنظمی‌های از نوع سختی و مقاومت و یا ترکیبی از آن‌ها، سازه‌ها را از غلبه مد نخست ارتعاش خارج نکرده اما مکانیسم فروریزش محتمل را ممکن است تغییر دهند. همچنین، بهترین تخمین‌ها از ظرفیت فروریزش، حاصل به کارگیری شتابنگاشت‌های متناظر با دوره تناوب مدهای اول، دوم و سوم در روش گروه‌بندی سازه‌ها بوده است. با توجه به اینکه هدف از روش مذکور تخمین ظرفیت فروریزش سازه‌ها بر مبنای IDA با استفاده از تعداد محدودی شتابنگاشت در کنار حفظ سطح قابلیت اطمینان پاسخ‌ها عنوان شده است، امکان کاربرد آن در تخمین پارامترهای پاسخ سازه‌ای پیش از وقوع فروریزش نیاز به بررسی‌های بیشتر دارد. تمرکز مطالعه حاضر بر امکان‌سنجی استفاده از روش انتخاب بهینه شتابنگاشت‌ها جهت تخمین پاسخ دینامیکی قاب‌های خمشی فولادی نامنظم در ارتفاع است. پارامترهای پاسخ در نظر گرفته شده عبارت‌اند از: شتاب مطلق طبقات، نسبت دریافت طبقات، جابجایی طبقات، لنگر پایه، برش پایه و ماکزیمم نسبت دریافت در بین طبقات (MIDR). گروهی از سازه‌های قاب خمشی فولادی یک‌دهانه با ارتفاع ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ طبقه که به لحاظ مقاومت و/یا سختی در زمره سازه‌های نامنظم در ارتفاع قرار می‌گیرند، مورد

مورد نظر در طبقات مختلف، تا حد امکان دارای نزدیک‌ترین منحنی پوش به حالت منظم متناظر خود باشد. برای رسیدن به این هدف، در ابتدا یک تابع خطا برای مقایسه میزان اختلاف بین منحنی پوش قاب نامنظم با قاب منظم متناظر در نظر گرفته شد. این تابع خطا که در رابطه ۱ نمایش داده شده است، میزان میانگین اختلاف نسبی منحنی پوش قاب نامنظم و منظم متناظر را از نظر ظرفیت نیرویی و سطح زیر نمودار پوش در ۴۴ مقدار از ظرفیت تغییر شکلی مختلف در نظر می‌گیرد. این ۴۴ مقدار از ظرفیت‌های تغییر شکلی، معادل با پاسخ جابجایی بام قاب منظم متناظر تحت اثر هر یک از ۴۴ شتابنگاشت مجموعه مرجع مورد استفاده در این مطالعه است که بیشینه شتاب حرکت زمین (PGA) در هر یک از آن‌ها به ۰/۳۵ شتاب ثقل مقیاس شده است. لازم به ذکر است که با توجه به اینکه طیف هدف استفاده شده در این مطالعه نیز میانگینی از طیف پاسخ این ۴۴ شتابنگاشت است، استفاده از روند فوق در تعریف تابع خطا، رابطه قاب‌های نامنظم را با سطح نیروی زلزله طرح حفظ می‌نماید.

$$\text{error} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{44} \left( \frac{|V_{b \text{ Irregular}} - V_{b \text{ Regular}}|}{V_{b \text{ Regular}}} + \frac{|A_{\text{Irregular}} - A_{\text{Regular}}|}{A_{\text{Regular}}} \right) \quad (1)$$

### ۳- شتابنگاشت‌ها و طیف‌های طرح مورد استفاده

در این مطالعه، یک مجموعه مرجع که شامل ۴۴ شتابنگاشت حوزه دور می‌باشد مورد استفاده قرار گرفته است. این مجموعه در پروژه ATC63 [۱] که با هدف سنجش صحت ضوابط طراحی لرزه‌ای سازه‌ها تعریف شده نیز مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل ۲-الف پراکنندگی بزرگا-فاصله شتابنگاشت‌های موجود در این مجموعه مرجع نشان داده شده و در شکل ۲-ب طیف پاسخ هر یک از آن‌ها در کنار میانگین طیفی این ۴۴ شتابنگاشت نمایش داده شده‌اند. اطلاعات بیشتر در مورد معیارهای کامل انتخاب آن‌ها، در مرجع [۲] موجود می‌باشد. همچنین مشخصات شتابنگاشت‌های مجموعه مرجع مورد استفاده، در جدول پ-۲ موجود است.



شکل ۲: الف) پراکنندگی بزرگا-فاصله شتابنگاشت‌های مورد استفاده ب) طیف پاسخ شتاب با میرایی ۵٪ شتابنگاشت‌های موجود در مجموعه مرجع

Fig. 2. The magnitude–distance distribution; and b) the 5% damped acceleration response spectra of the general set of SGMRs

طبقات دیگر به صورت الاستیک باقی بمانند. مدل رفتاری مفاصل پلاستیک متمرکز با استفاده از مدل Steel02 و با سختی پس از جاری شدن معادل با ۳٪ از سختی الاستیک اولیه تعریف شده است. لنگر جاری شدن مفاصل پلاستیک طوری تعیین شده‌اند که تمام مفاصل تحت اثر بار جانبی دارای الگوی بار معادل استاتیکی مطابق با ضوابط استاندارد ۲۸۰۰، به طور همزمان جاری شوند. برش پایه طرح برابر با پاسخ طیف شتاب طرح در پریود مود اول سازه‌ی مورد نظر، ضرب در جرم کل آن سازه در نظر گرفته شده است. با هدف ایجاد تنوع در سطوح مقاومت مدل‌های سازه‌ای، از چهار طیف طرح معادل با شکل‌پذیری ۱، ۲، ۴ و ۶ استفاده شده است. با این فرضیات، هشت طراحی مختلف (با توجه به دو مقدار برای پریود مود غالب و ۴ مقدار برای شکل‌پذیری) برای هر قاب با تعداد طبقات مشخص و جمعا ۴۰ قاب منظم خواهیم داشت. میرایی قاب‌ها به صورت رایله فرض شده و ضرایب آن طوری تعیین شده است که نسبت میرایی مود اول و اولین مودی که ضریب مشارکت جرمی جمعی آن بیشتر از ۹۵٪ می‌باشد، معادل با ۵٪ شوند. همچنین در طراحی قاب‌ها اثر  $\Delta$ -P کلی (Global P-delta) در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که ایده مدل‌سازی این نوع قاب‌ها پیش‌تر در مراجع [۱۴-۱۲] نیز مورد استفاده قرار گرفته است. این بانک قاب‌های فولادی به منظور بررسی جامع در زمینه روش‌های انتخاب و مقیاس‌سازی شتابنگاشت‌ها تهیه و مورد استفاده قرار گرفته است [۱۵].

جهت اعمال الگوی نامنظمی، به عنوان نمونه برای داشتن طبقه نرم و یا سخت، سختی آن طبقه بر عدد ۲ تقسیم و یا ضرب شده است. همچنین برای داشتن طبقه ضعیف و یا قوی، مقاومت عناصر برابر جانبی در آن طبقه بر عدد ۲ تقسیم و یا ضرب شده‌اند. این اصلاح سختی و یا مقاومت به صورت چهار الگوی نامنظمی مختلف در طبقات قاب‌ها اعمال شده است، این الگوها عبارت‌اند از: اعمال نامنظمی در بالاترین طبقه، طبقه میانی، طبقه اول و کلیه طبقات واقع در نیمه پایینی قاب‌ها. بنابراین به طور کلی به ازای هر قاب منظم مرجع ۲۴ قاب نامنظم و در مجموع ۹۶۰ قاب نامنظم استخراج شده است.

با توجه به اینکه پس از اعمال تغییر در سختی طبقات، پریود سازه نیز دچار تغییر می‌شود برای اینکه مقایسه معناداری بین نتایج حاصل از تحلیل قاب‌های منظم و نامنظم قابل انجام باشد، سختی تیر و ستون‌های کل سازه‌ی اصلاح شده مجدداً به صورت یکنواخت مقیاس می‌شوند تا پریود سازه نامنظم برابر با پریود سازه منظم متناظر خود گردد. از سوی دیگر، اعمال نامنظمی سختی و/یا مقاومت در ارتفاع یک سازه، منحنی پوش آن را دچار تغییر می‌کند. با توجه به اینکه منحنی پوش می‌تواند الگوی رفتار غیرخطی قاب‌ها را ارائه دهد، عدم در نظر گرفتن تغییرات این منحنی در اثر اعمال نامنظمی‌ها می‌تواند بر تفسیر نتایج نهایی تاثیرگذار باشد. راهکاری که برای حل این مشکل در این مطالعه در نظر گرفته شده، تلاش برای به کنترل درآوردن میزان این تغییرات است. به عبارت دیگر، به دنبال ایجاد سازه نامنظم به گونه‌ای هستیم که علی‌رغم داشتن نسبت‌های نامنظمی

#### ۴- اثر نامنظمی بر کارایی روش مقیاس‌سازی بر اساس $Sa(T_1)$

##### هدف

همانطور که پیش‌تر عنوان گردید، در این مطالعه مقیاس‌سازی شتابنگاشت‌ها جهت انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی به گونه‌ای انجام شده است که مقدار پاسخ شتاب طیفی هر کدام از آن‌ها در پریود مود اول سازه مورد تحلیل معادل با مقدار متناظر در طیف هدف شود. پراکندگی بیشتر در تخمین‌های به دست‌آمده توسط هر روش مقیاس‌سازی به کارایی کمتر آن روش تعبیر می‌شود. در این بخش، به بررسی اثر نامنظمی بر کارایی روش مقیاس‌سازی مورد استفاده در تخمین پارامترهای مختلف پاسخ پرداخته شده است. جهت انجام این بررسی، ضریب تغییرپذیری (COV)، که برابر با انحراف معیار تقسیم بر میانگین یک نمونه‌ی آماری می‌باشد، به عنوان شاخصی از پراکندگی تخمین‌ها به کار برده شده و نسبت  $\gamma$  به صورت رابطه ۳ تعریف شده است:

$$\gamma = \text{COV}_{\text{Irregular}} / \text{COV}_{\text{regular}} \quad (3)$$

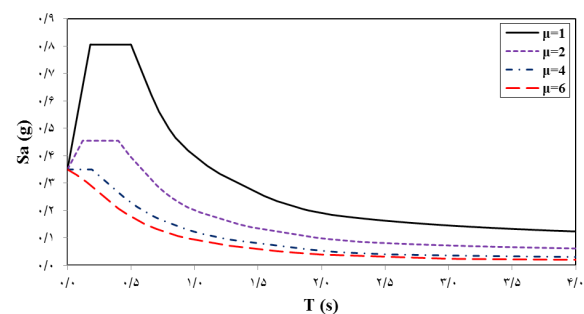
در این رابطه  $\text{COV}_{\text{Irregular}}$  ضریب تغییرپذیری پاسخ تخمین‌زده شده در یک قاب نامنظم و  $\text{COV}_{\text{regular}}$  ضریب تغییرپذیری پاسخ تخمین‌زده شده در قاب منظم متناظر با استفاده از یکی از روش‌های مقیاس‌سازی مورد بررسی می‌باشند. توجه به این نکته لازم است که در پاسخ‌هایی که در تمام طبقات ثبت شده‌اند (مانند شتاب مطلق طبقات)، بیشینه ضریب تغییرپذیری در کل طبقات برای محاسبه  $\gamma$  مورد استفاده قرار گرفته است.

اگر مقادیر  $\gamma$  را مطابق با رابطه ۳ برای همه قاب‌های مورد استفاده در این مطالعه (۹۶۰ سازه دوعبده) محاسبه نماییم، می‌توانیم با توجه به فراوانی این مقادیر، تابع احتمال تجمعی آن‌ها را به صورت تجربی محاسبه و به یک شمای کلی از میزان حساسیت این روش مقیاس‌سازی نسبت به نامنظمی‌های اعمال شده دست پیدا کنیم. منحنی‌های تجمعی احتمال مقادیر  $\gamma$  به تفکیک پارامترهای پاسخ شتاب مطلق طبقات، نسبت دریافت طبقات، جابجایی طبقات، لنگر پایه، برش پایه و MIDR در شکل ۴ نمایش داده شده‌اند. نزدیک بودن مقادیر نسبت فوق به مقدار واحد و تمرکز مقادیر حول این مقدار حاکی از عدم تاثیرگذاری نامنظمی بر کارایی مقیاس‌سازی است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود حساسیت کارایی روش مقیاس‌سازی بر اساس  $Sa(T_1)$  هدف نسبت به نامنظمی‌های اعمال شده، در تخمین پارامترهای مختلف پاسخ متفاوت است، به طوری که این حساسیت در تخمین لنگر و برش پایه بیشتر و در تخمین شتاب مطلق طبقات کمتر است. همچنین اعمال نامنظمی در ارتفاع قاب‌ها لزوماً منجر به کاهش کارایی روش مقیاس‌سازی نبوده است.

با توجه به اینکه طراحی سازه‌ها برای چهار سطح مقاومتی مختلف متناظر با شکل‌پذیری ثابت ۱، ۲، ۴ و ۶ مورد نظر می‌باشد، علاوه بر نیاز به طیف طرح الاستیک ( $\mu=1$ )، به طیف‌های طرح غیرالاستیک در سه سطح شکل‌پذیری ۲، ۴ و ۶ نیز نیاز خواهیم داشت. جهت تعیین طیف طرح الاستیک در این مطالعه با توجه به بیشینه شتاب حرکت زمین برای پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد و خاک نوع ۲ که در استاندارد ۲۸۰۰ [۹] معادل با  $g$  ۰/۳۵ تعیین شده است، در ابتدا میانگین طیف پاسخ مجموعه شتابنگاشت مرجع که بیشینه شتاب همه آن‌ها به  $g$  ۰/۳۵ مقیاس شده مورد محاسبه قرار گرفته و در مرحله بعد پس از هموارسازی طیف میانگین به دست‌آمده، کنترل شده است که این طیف در هیچ پریودی کمتر از ۲/۳ برابر طیف طرح آیین‌نامه نباشد. پس از اعمال تغییرات لازم در طیف میانگین، جهت برآورد این ضابطه، طیف حاصل به عنوان طیف هدف تعیین شده است.

جهت تعیین طیف‌های طرح غیرالاستیک مورد نیاز، در ابتدا میانگین طیف‌های با شکل‌پذیری ثابت برای مجموعه شتابنگاشت مرجع که بیشینه شتاب حرکت زمین آن‌ها به  $g$  ۰/۳۵ مقیاس شده است تحت ضرایب شکل‌پذیری ۲، ۴ و ۶ از طریق تحلیل تاریخچه زمانی سازه‌های یکدرجه آزاد غیرخطی متناظر محاسبه شده‌اند. در مرحله بعد، پس از هموارسازی طیف‌های میانگین به دست‌آمده کنترل شده است که آن‌ها از برابر طیف غیرخطی نیومارک با شکل‌پذیری متناظر، که از تقسیم طیف طرح الاستیک استاندارد ۲۸۰۰ بر ضریب کاهش مقاومت ( $R_{\mu}$ ) به دست می‌آید، کمتر نباشند. ضرایب کاهش مقاومت در محدوده‌های پریودی مختلف برای به دست آوردن طیف غیر خطی نیومارک به صورت رابطه ۲ بوده است [۱۶]. سپس، طیف غیرخطی حاصل به عنوان طیف طرح در نظر گرفته شده است. طیف‌های طرح به دست‌آمده مبتنی بر فرایند مذکور در شکل ۳ نمایش داده شده‌اند.

$$\begin{cases} R_{\mu} = 1 & T < 0.05 \text{ sec} \\ R_{\mu} = \sqrt{2\mu - 1} & 0.12 \text{ sec} < T < 0.5 \text{ sec} \\ R_{\mu} = \mu & T > 1 \text{ sec} \end{cases} \quad (2)$$



شکل ۳: طیف‌های طرح مورد استفاده در این مطالعه

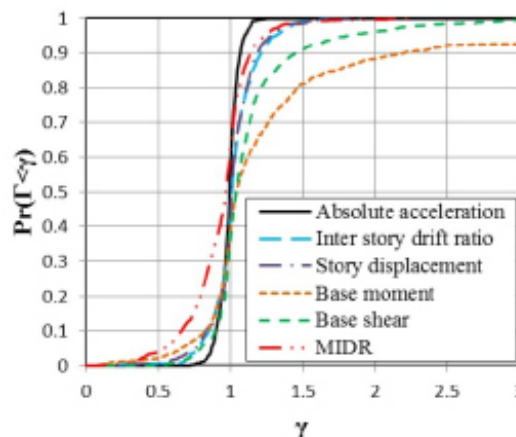
Fig. 3. The design spectra used in this study



کمتر بودن مقادیر  $\beta$  از مقدار ۱ به معنای کاهش در پراکندگی تخمین‌های محاسبه شده توسط زیرمجموعه شتابنگاشت‌های پیشنهادی نسبت به مقادیر محاسبه شده توسط مجموعه مرجع شتابنگاشت‌ها است. توجه به این نکته خالی از لطف نیست که گروه‌بندی سازه‌ها در روش پیشنهادی [۶]، دارای کرانه بالای پریود برابر ۲ ثانیه است، بنابراین سازه‌های دارای پریود مورد نخست بالاتر از ۲ ثانیه در مرحله ارزیابی‌های عمومی به منظور افزایش قابلیت اطمینان در نتیجه گیری‌ها کنار گذاشته شده‌اند.

اگر مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  را مطابق با روابط ۴ و ۵ برای همه قاب‌ها محاسبه نماییم، می‌توانیم با توجه به مقادیر حاصله احتمال تجمعی آن‌ها را به دست بیاوریم. در اشکال ۵ و ۶ به ترتیب منحنی‌های تجمعی احتمال مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  در قاب‌های نامنظمی که برای آن‌ها زیرمجموعه شتابنگاشت پیشنهادی وجود داشته، نمایش داده شده‌اند. برای محاسبه مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  در قاب‌های دارای پریود ۰/۳ و ۰/۹ ثانیه که برای آن‌ها دو زیرمجموعه پیشنهادی وجود دارد (به این دلیل که دقیقاً در مرز گروه بندی سازه‌ها بر اساس پریود قرار دارند)، به ترتیب از زیرمجموعه‌های I و IV استفاده شده است. اولین نکته‌ای که با توجه به شکل ۵ می‌توان دریافت این است که عملکرد زیرمجموعه‌های پیشنهاد شده برای قاب‌های مختلف یکسان نبوده است، به طور مثال استفاده از این روش در تخمین پارامترهای پاسخ شتاب مطلق طبقات، نسبت دریافت طبقات، جابجایی طبقات و MIDR در قاب‌های دارای پریود ۱/۵ ثانیه منجر به تخمین‌های دقیق‌تری نسبت به سایر قاب‌ها شده است. همچنین همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود در بیشتر موارد تخمین‌ها دست پایین بوده‌اند، به طور مثال در تخمین MIDR در قاب‌های دارای پریود ۰/۶ ثانیه، حتی در مواردی تخمین‌ها کمتر از ۷۰٪ تخمین‌های محاسبه شده توسط مجموعه مرجع شتابنگاشت‌ها بوده‌اند. در تخمین لنگر و برش پایه، ثبات نسبتاً بیشتری در استفاده از این روش برای قاب‌های مختلف مشاهده می‌شود، به طوری که مقادیر  $\alpha$  در محدوده ۰/۹ تا ۱/۱ قرار گرفته‌اند. این بدان معنی است که زیرمجموعه‌های پیشنهادی که قرار است سازه محور عمل نمایند تخمین‌های مناسبی از مقادیر میانگین پاسخ در قیاس با مجموعه مرجع ارائه داده‌اند.

با توجه به شکل ۶، استفاده از زیرمجموعه‌های پیشنهادی لزوماً باعث کاهش پراکندگی پاسخ‌ها نسبت به حالتی که از مجموعه شتابنگاشت‌های مرجع استفاده می‌شود نشده و در تعداد قابل توجهی از قاب‌ها استفاده از این روش منجر به افزایش پراکندگی پاسخ‌ها نیز شده است. همچنین، عملکرد زیرمجموعه‌های پیشنهادی برای قاب‌های مختلف از نظر پراکندگی پاسخ‌ها یکنواخت نبوده است. به طور مثال استفاده از این روش در تخمین پارامترهای پاسخ دارای جنس جابجایی در قاب‌های دارای پریود ۱/۵ ثانیه منجر به تخمین‌های پراکنده‌تری نسبت به قاب‌های دارای پریود ۱/۸ ثانیه شده است. توجه به این نکته ضروری است که حالت ایده آل برای کارکرد روش انتخاب شتابنگاشت‌ها، مقدار  $\alpha$  هرچه نزدیک‌تر به واحد و  $\beta$  هرچه کمتر می‌باشد.



شکل ۴: منحنی تجمعی احتمال مقادیر  $\gamma$  برای پارامترهای مختلف پاسخ مورد بررسی

Fig. 4. Empirical probability cumulative distribution curves of  $\gamma$  in case of estimated EDPs

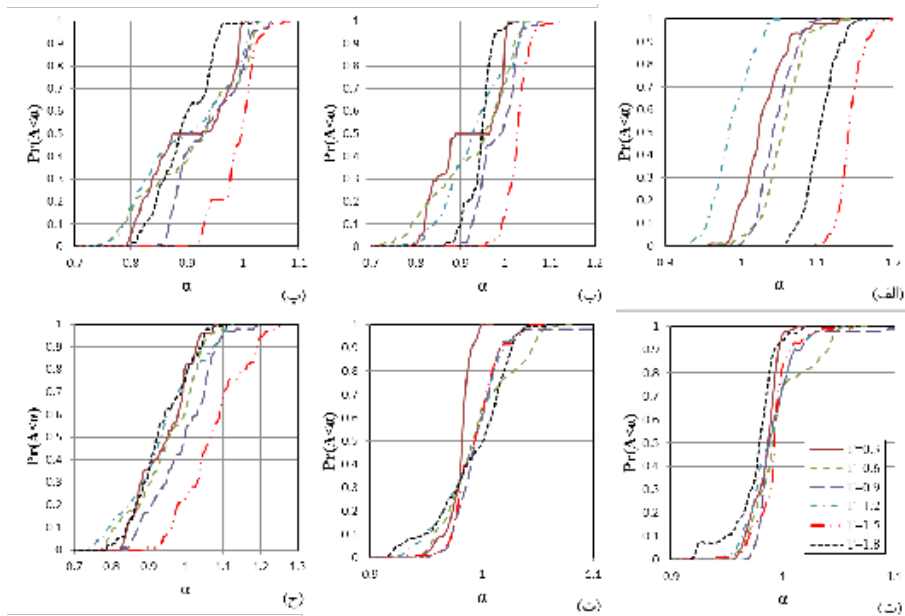
## ۵- ارزیابی روش انتخاب بهینه شتابنگاشت‌ها از نظر تخمین تقاضای میانگین پارامترهای پاسخ

برای ارزیابی روش انتخاب بهینه شتابنگاشت‌ها از نظر تخمین تقاضای میانگین پارامترهای پاسخ، در ابتدا پارامترهای  $\alpha$  و  $\beta$  به صورت روابط ۴ و ۵ تعریف شده‌اند.

$$\alpha = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^8 EDP_{Subset i}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{44} EDP_{General set}} \quad (4)$$

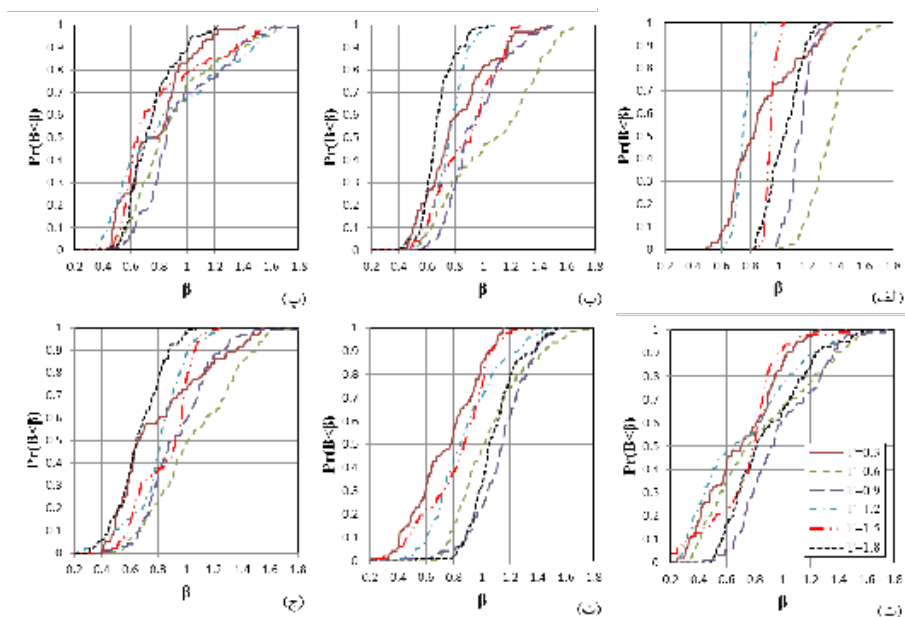
$$\beta = \frac{COV(EDP_{Subset i})}{COV(EDP_{General set})} \quad (5)$$

در این روابط،  $EDP_{Subset i}$  پارامترهای پاسخ تخمین زده شده توسط زیرمجموعه شتابنگاشت‌های  $\alpha$ م،  $EDP_{General set}$  پارامترهای پاسخ تخمین زده شده توسط مجموعه مرجع شتابنگاشت‌ها،  $COV$  ضریب تغییرپذیری و  $n$  تعداد شتابنگاشت‌های مورد استفاده جهت انجام تحلیل می‌باشند. زیر مجموعه  $\alpha$ م، می‌تواند هر یک از زیرمجموعه‌های I تا VI نشان داده شده در جدول پ-۱ باشد. لازم به ذکر است که در مورد پاسخ‌هایی که در تمام طبقات قاب‌ها ثبت شده‌اند (مانند شتاب مطلق طبقات)، مقدار  $\alpha$  برای هر یک از طبقات محاسبه و میانگین آن‌ها به عنوان شاخص عملکرد نسبی روش‌ها در روابط بالا به کاررفته و گزارش شده است، همچنین در مورد این دسته از پاسخ‌ها بیشینه ضریب تغییرپذیری در بین همه طبقات، جهت محاسبه مقدار  $\beta$  مورد استفاده قرار گرفته است. نزدیک‌تر بودن مقادیر  $\alpha$  به مقدار ۱، مترادف است با دقت بیشتر زیرمجموعه شتابنگاشت‌های پیشنهادی در ارائه تخمین‌های هرچه نزدیک‌تر به مجموعه شتابنگاشت‌های مرجع و



شکل ۵: منحنی‌های تجمعی احتمال مقادیر  $\alpha$ ، تفکیک شده با توجه به پریود مود غالب ارتعاشی، برای پارامترهای پاسخ: الف) شتاب مطلق طبقات ب) نسبت دررفت طبقات پ) جابجایی طبقات ت) لنگر پایه ث) برش پایه ج) MIDR

Fig. 5. Empirical probability cumulative distribution curves of  $\alpha$  plotted in a disaggregated format based on the fundamental vibration period for: a) Absolute acceleration; b) Inter story drift ratio; c) Story displacement; d) Base moment; e) Base shear; f) MIDR



شکل ۶: منحنی‌های تجمعی احتمال مقادیر  $\beta$ ، تفکیک شده بر مبنای پریود مود غالب ارتعاشی، برای پارامترهای پاسخ: الف) شتاب مطلق طبقات ب) نسبت دررفت طبقات پ) جابجایی طبقات ت) لنگر پایه ث) برش پایه ج) MIDR

Fig. 6. Empirical probability cumulative distribution curves of  $\beta$  plotted in a disaggregated format based on the fundamental vibration period for: a) Absolute acceleration; b) Inter story drift ratio; c) Story displacement; d) Base moment; e) Base shear; f) MIDR

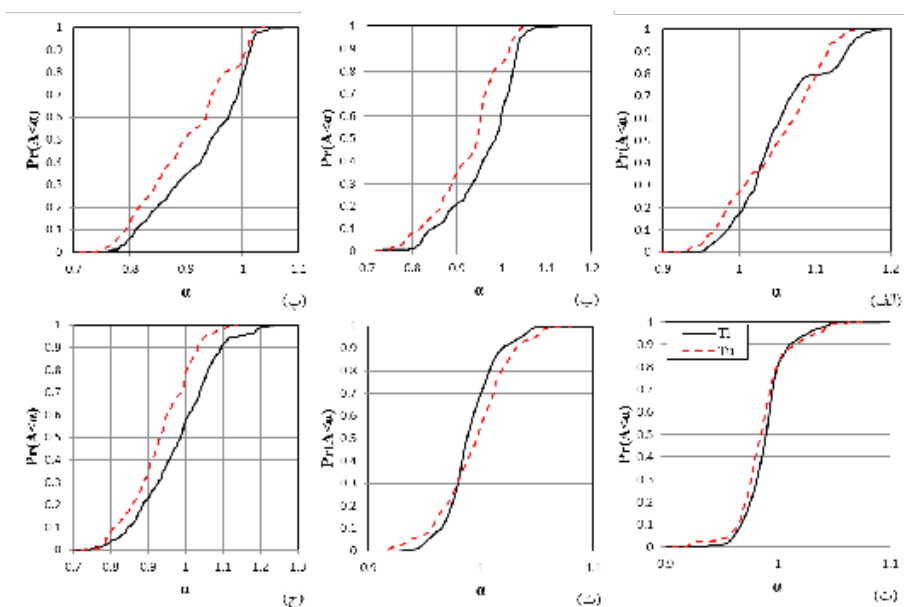
زیرمجموعه‌های پیشنهادی در تخمین شتاب مطلق طبقات نداشته است، اما دارای تاثیر غیر قابل اغماض در پارامترهای پاسخ از جنس جابجایی است، به طوری که در تخمین این پاسخ‌ها، استفاده از زیرمجموعه‌های پیشنهادی منجر به تخمین‌های دقیق‌تری در قاب‌های دارای شکل‌پذیری ۱ نسبت به سایر قاب‌ها شده است. به عبارت دیگر، دقت روش انتخاب بهینه شتابنگاشت‌ها در تخمین پارامترهای پاسخ دارای جنس جابجایی با افزایش شکل‌پذیری کاهش یافته است. این شواهد در مورد تخمین پاسخ‌های لنگر و برش پایه نیز با شدت کمتری برقرار است.

بررسی اشکال ۱۱ تا ۱۳ حاکی از آن است که با تفکیک منحنی‌های تجمعی احتمال مقادیر  $\beta$  بر مبنای نرم و یا سخت بودن قاب، الگوهای نامنظمی و سطوح نامنظمی اعمال شده در قاب‌ها، نمی‌توان عملکرد متفاوتی را برای زیرمجموعه شتابنگاشت‌های پیشنهادی متصور شد. از سوی دیگر تفکیک این منحنی‌ها با توجه به شکل‌پذیری قاب‌ها (شکل ۱۴) نشان می‌دهد که به جز در تخمین شتاب مطلق طبقات در سایر پارامترهای پاسخ، عملکرد این روش از نظر پراکندگی تخمین‌ها کاملاً به میزان شکل‌پذیری قاب‌ها بستگی داشته است. به طوری که با کاهش شکل‌پذیری، تخمین‌های به دست آمده با استفاده از زیرمجموعه‌های پیشنهادی پراکنده‌تر شده‌اند (مقادیر  $\beta$  افزایش داشته است). این روند به ویژه در پارامترهای پاسخ دارای جنس جابجایی و همچنین لنگر پایه تشدید می‌شود.

## ۶- ارزیابی عملکرد روش انتخاب بهینه شتابنگاشت‌ها به تفکیک مشخصات سازه‌ای قاب‌های نامنظم

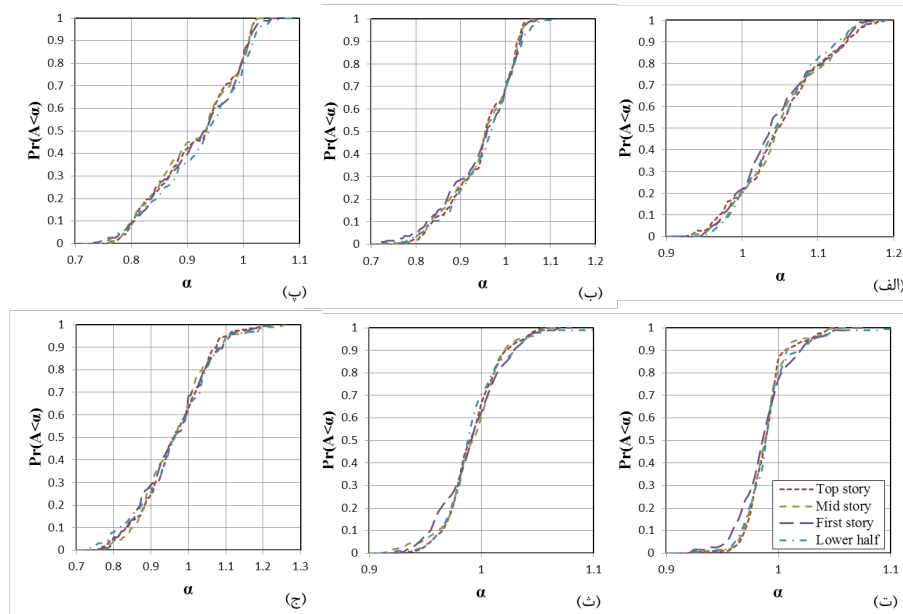
در این بخش، عملکرد روش انتخاب بهینه شتابنگاشت‌ها از دیدگاه تخمین میانگین پارامترهای پاسخ به تفکیک مشخصات سازه‌ای قاب‌های نامنظم مورد بررسی قرار گرفته است. اگر مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  را در قاب‌هایی که برای آن‌ها مطابق با جدول پ-۱ زیرمجموعه شتابنگاشت پیشنهادی وجود دارد محاسبه نماییم، منحنی‌های تجمعی این مقادیر به تفکیک قاب‌های نرم (دارای پریود ۰/۱ برابر تعداد طبقات) و سخت (دارای پریود ۰/۲ برابر تعداد طبقات)، الگوهای نامنظمی، شدت نامنظمی و شکل‌پذیری، برای مقادیر  $\alpha$  در اشکال ۷ تا ۱۰ و برای مقادیر  $\beta$  مطابق در ۱۱ تا ۱۴ ارائه گردیده‌اند.

بررسی شکل ۷ نشان می‌دهد که عملکرد روش انتخاب بهینه شتابنگاشت‌ها در تخمین میانگین پارامترهای پاسخ قاب‌های نرم و سخت، تفاوت زیادی نداشته است. البته، تخمین‌های زیرمجموعه‌های پیشنهادی در پاسخ‌های دارای جنس جابجایی، برای قاب‌های سخت‌تر اندکی دقیق‌تر از قاب‌های نرم‌تر بوده است. تفکیک مقادیر  $\alpha$  با توجه به الگوها و سطوح نامنظمی‌های اعمال شده، نشان می‌دهد که عملکرد کلی روش انتخاب بهینه شتابنگاشت‌ها از نظر تخمین میانگین پارامترهای پاسخ در قاب‌های دارای الگوها و انواع نامنظمی مختلف تقریباً یکسان بوده است (اشکال ۸ و ۹). با توجه به شکل ۱۰، شکل‌پذیری قاب‌ها پارامتری کاملاً تاثیرگذار در مقادیر  $\alpha$  برای اغلب پاسخ‌ها بوده است. شکل‌پذیری اگرچه تاثیر زیادی در عملکرد



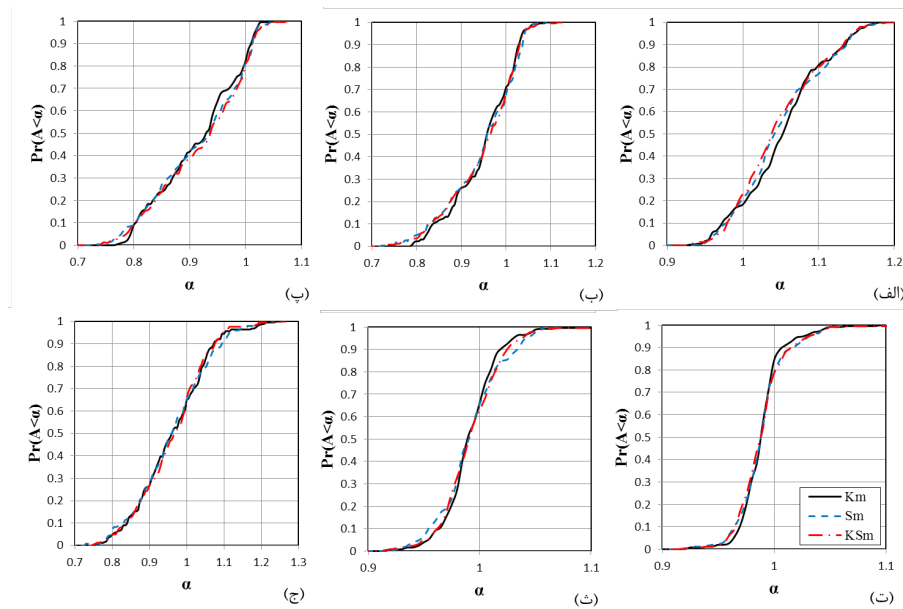
شکل ۷: منحنی‌های تجمعی احتمال مقادیر  $\alpha$ ، به تفکیک قاب‌های دارای پریود باند بالا (TU) و پایین (TL)، برای پارامترهای پاسخ: الف) شتاب مطلق طبقات ب) نسبت دریافت طبقات پ) جابجایی طبقات ت) لنگر پایه ث) برش پایه ج) MIDR

Fig. 7. Empirical probability cumulative distribution curves of  $\alpha$  plotted in a disaggregated format generated separately for the frames with lower or upper band of the fundamental vibration period in terms of: a) Absolute acceleration; b) Inter story drift ratio; c) Story displacement; d) Base moment; e) Base shear; f) MIDR



شکل ۸: منحنی‌های تجمعی احتمال مقادیر  $\alpha$ ، به تفکیک الگوهای نامنظمی، برای پارامترهای پاسخ: الف) شتاب مطلق طبقات ب) نسبت دررفت طبقات (ب) جابجایی طبقات ت) لنگر پایه ت) برش پایه ج) MIDR

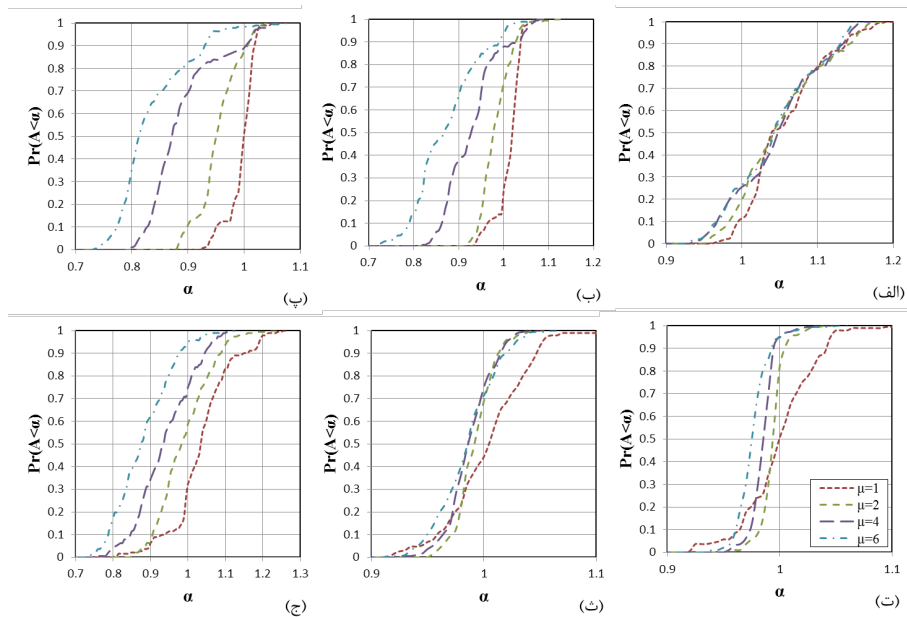
Fig. 8. Empirical probability cumulative distribution curves of  $\alpha$  plotted in a disaggregated format generated separately for different irregularity patterns in terms of: a) Absolute acceleration; b) Inter story drift ratio; c) Story displacement; d) Base moment; e) Base shear; f) MIDR



شکل ۹: منحنی‌های تجمعی احتمال مقادیر  $\alpha$ ، به تفکیک انواع نامنظمی، برای پارامترهای پاسخ: الف) شتاب مطلق طبقات ب) نسبت دررفت طبقات (ب) جابجایی طبقات ت) لنگر پایه ت) برش پایه ج) MIDR

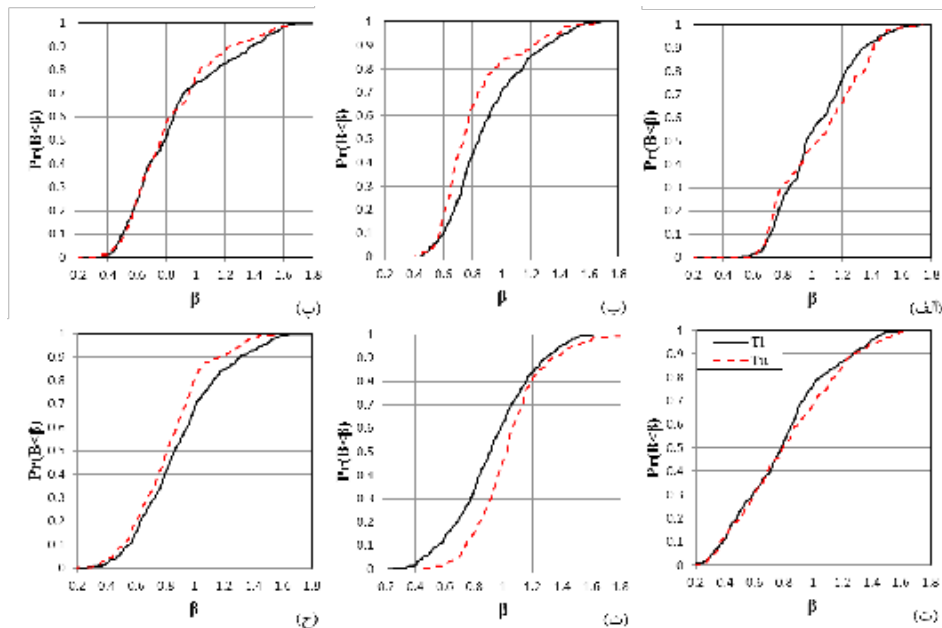
Fig. 9. Empirical probability cumulative distribution curves of  $\alpha$  plotted in a disaggregated format generated separately for different irregularity types in terms of: a) Absolute acceleration; b) Inter story drift ratio; c) Story displacement; d) Base moment; e) Base shear; f) MIDR





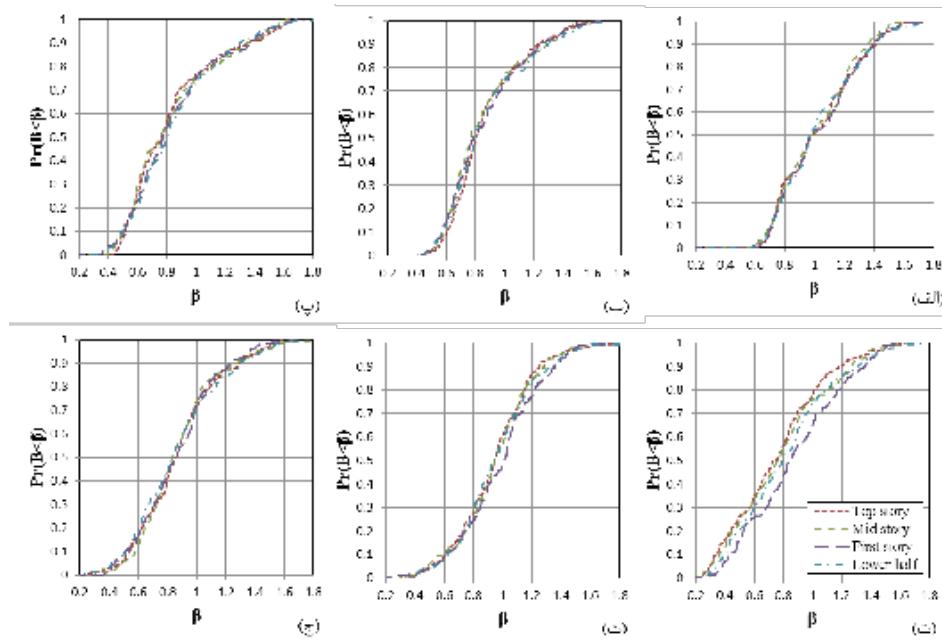
شکل ۱۰: منحنی‌های تجمعی احتمال مقادیر  $\alpha$ ، به تفکیک شکل‌پذیری، برای پارامترهای پاسخ (الف) شتاب مطلق طبقات (ب) نسبت دریافت طبقات (پ) جابجایی طبقات (ت) لنگر پایه (ث) برش پایه (ج) MIDR

Fig. 10. Empirical probability cumulative distribution curves of  $\alpha$  plotted in a disaggregated format generated for different levels of ductility for: a) Absolute acceleration; b) Inter story drift ratio; c) Story displacement; d) Base moment; e) Base shear; f) MIDR



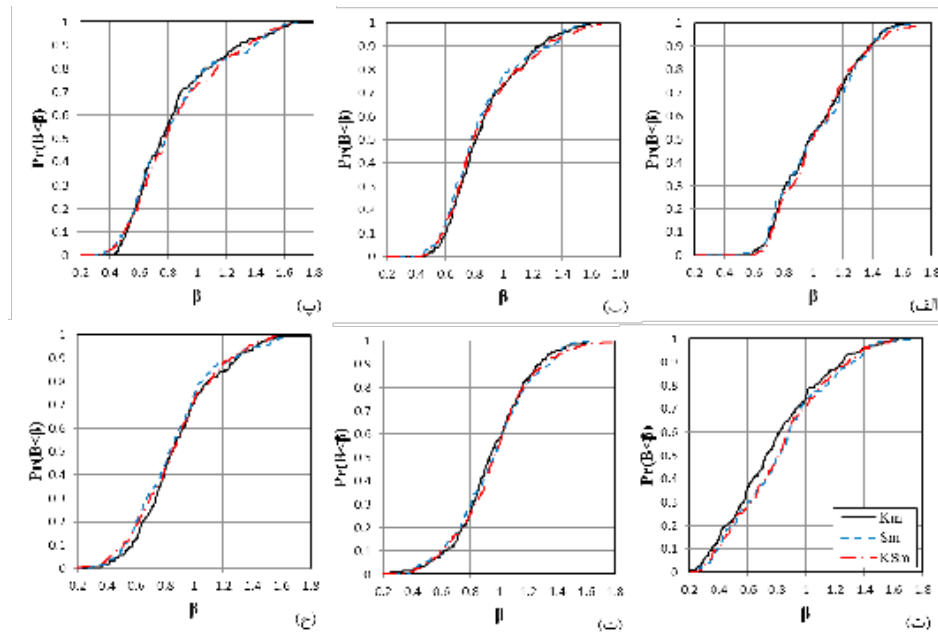
شکل ۱۱: منحنی‌های تجمعی احتمال مقادیر  $\beta$ ، به تفکیک قاب‌های دارای پررود باند بالا (Tu) و پایین (TL)، برای پارامترهای پاسخ (الف) شتاب مطلق طبقات (ب) نسبت دریافت طبقات (پ) جابجایی طبقات (ت) لنگر پایه (ث) برش پایه (ج) MIDR

Fig. 11. Empirical probability cumulative distribution curves of  $\beta$  plotted in a disaggregated format generated separately for the frames with lower or upper band of the fundamental vibration period in terms of: a) Absolute acceleration; b) Inter story drift ratio; c) Story displacement; d) Base moment; e) Base shear; f) MIDR



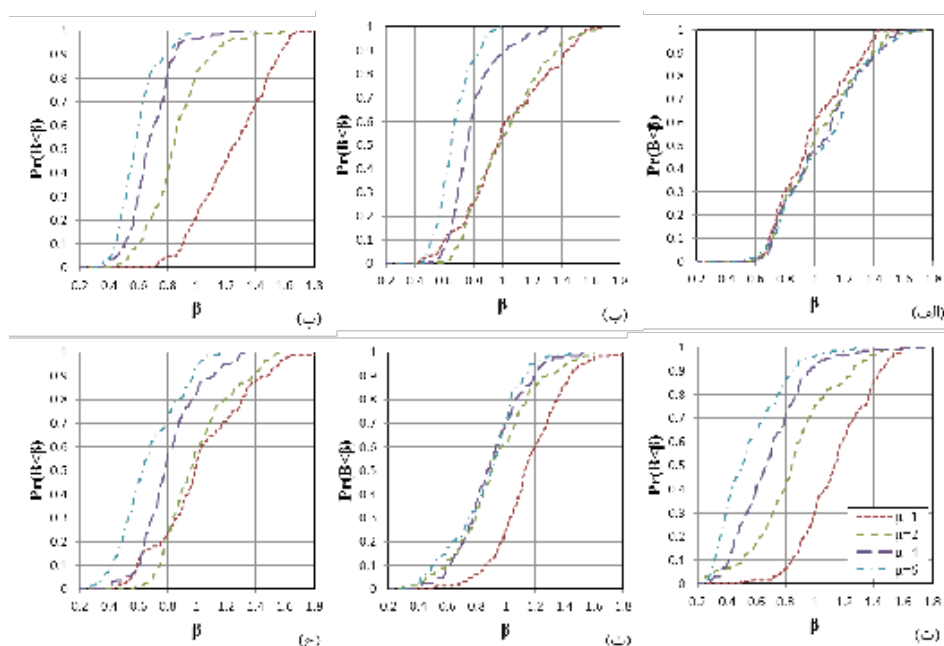
شکل ۱۲: منحنی‌های تجمعی احتمال مقادیر  $\beta$ ، به تفکیک الگوهای نامنظمی، برای پارامترهای پاسخ: الف) شتاب مطلق طبقات ب) نسبت دررفت طبقات (پ) جابجایی طبقات ت) لنگر پایه ت) برش پایه ج) MIDR

Fig. 12. Empirical probability cumulative distribution curves of  $\beta$  plotted in a disaggregated format generated for different irregularity patterns for: a) Absolute acceleration; b) Inter story drift ratio; c) Story displacement; d) Base moment; e) Base shear; f) MIDR



شکل ۱۳: منحنی‌های تجمعی احتمال مقادیر  $\beta$ ، به تفکیک انواع نامنظمی، برای پارامترهای پاسخ: الف) شتاب مطلق طبقات ب) نسبت دررفت طبقات (پ) جابجایی طبقات ت) لنگر پایه ت) برش پایه ج) MIDR

Fig. 13. Empirical probability cumulative distribution curves of  $\beta$  plotted in a disaggregated format generated for different irregularity types in terms of: a) Absolute acceleration; b) Inter story drift ratio; c) Story displacement; d) Base moment; e) Base shear; f) MIDR



شکل ۱۴: منحنی‌های تجمعی احتمال مقادیر  $\beta$ ، به تفکیک شکل‌پذیری، برای پارامترهای پاسخ: الف) شتاب مطلق طبقات ب) نسبت دررفت طبقات پ) جابجایی طبقات ت) لنگر پایه ث) برش پایه ج) MIDR

Fig. 14. Empirical probability cumulative distribution curves of  $\beta$  plotted in a disaggregated format for different levels of ductility in terms of: a) Absolute acceleration; b) Inter story drift ratio; c) Story displacement; d) Base moment; e) Base shear; f) MIDR

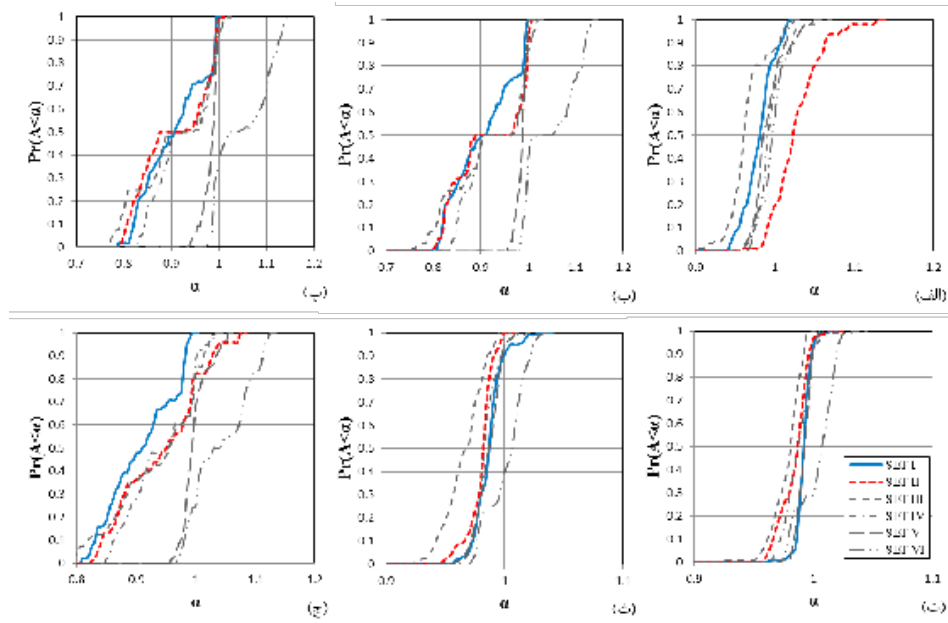
و زیرمجموعه I تخمین‌های دست پایین‌تری را نسبت به مجموعه مرجع شتابنگاشت‌ها ارائه داده‌اند. در تخمین MIDR نیز اگرچه تخمین‌های هر دو زیرمجموعه پیشنهادی در اکثر قاب‌ها دست پایین بوده، اما تخمین‌های زیرمجموعه II کمی دقیق‌تر بوده است. همچنین با توجه به شکل ۱۶، استفاده از زیرمجموعه V نسبت به زیرمجموعه IV تخمین‌های دقیق‌تری از پاسخ شتاب مطلق طبقات داشته است، این در حالی است که در تخمین سایر پارامترهای پاسخ استفاده از زیرمجموعه IV منجر به دقت بالاتری در تخمین‌ها شده است.

نکته دیگر که با توجه به اشکال ۱۵ و ۱۶ می‌توان دریافت مربوط به این مشاهده است که زیرمجموعه شتابنگاشت‌های پیشنهاد شده برای هر کدام از قاب‌ها لزوماً دارای بهترین عملکرد نسبت به سایر زیرمجموعه‌های موجود در جدول پ-۱ نبوده‌اند. این موضوع در سایر قاب‌های نامنظم نیز تکرار می‌شود. با توجه به این شواهد و با توجه به اینکه زیرمجموعه‌های ۶ گانه مورد استفاده، یک حالت از بین همه زیرمجموعه‌های ممکن می‌باشند، می‌توان استنباط نمود که امکان ارائه زیرمجموعه شتابنگاشت‌های مناسب‌تر براساس ایده گروه‌بندی سازه‌ها با هدف تخمین قابل‌انکابی از پارامترهای پاسخ، وجود خواهد داشت.

## ۷- مقایسه عملکرد نسبی همه زیرمجموعه شتابنگاشت‌های مطرح در روش انتخاب بهینه شتابنگاشت‌ها

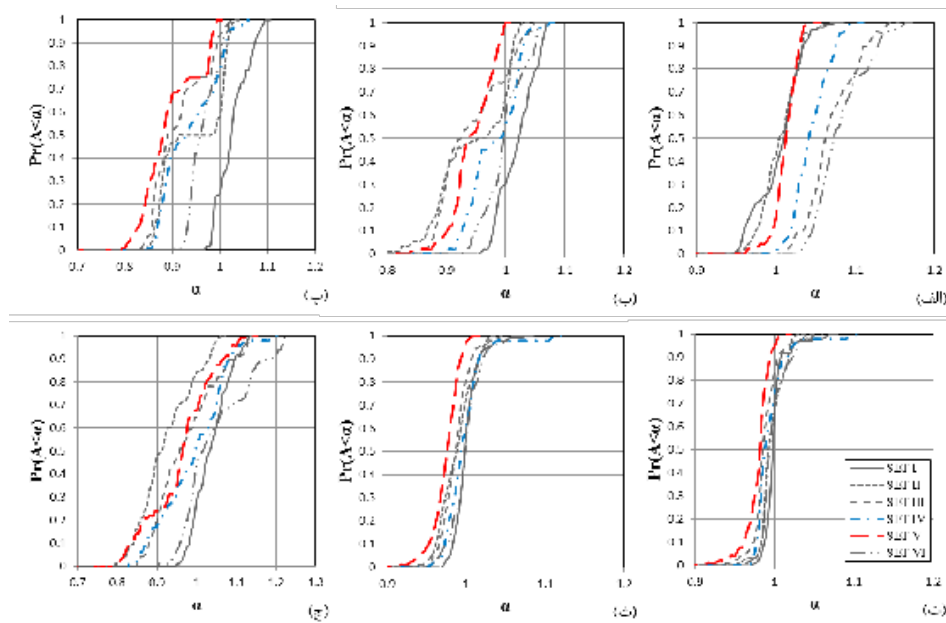
در جدول پ-۱، ۶ زیرمجموعه شتابنگاشت جهت تحلیل گروه‌های مختلف سازه‌ای توسط روش انتخاب بهینه شتابنگاشت‌ها پیشنهاد شده است. مقایسه عملکرد همه این زیرمجموعه‌ها در تخمین پاسخ‌های دینامیکی قاب‌های مورد استفاده در این مطالعه، هدف از بخش حاضر است. این بررسی به دنبال مقایسه عملکرد نسبی زیرمجموعه شتابنگاشت‌های پیشنهادی برای یک سازه مشخص می‌باشد. منحنی‌های تجربی تجمعی احتمال مقادیر  $\alpha$  برای قاب‌های نامنظم دارای پرپود ۰/۳ و ۰/۹ ثانیه به ترتیب در اشکال ۱۵ و ۱۶ رسم شده‌اند. این منحنی‌ها برای تخمین پارامترهای پاسخ با استفاده از هر کدام از ۶ زیرمجموعه شتابنگاشت‌های موجود در جدول پ-۱ مورد محاسبه قرار گرفته‌اند.

با توجه به اینکه برای تحلیل تاریخچه زمانی قاب‌های دارای پرپود ۰/۳ و ۰/۹ ثانیه، دو زیرمجموعه شتابنگاشت قابل استفاده می‌باشند، در ابتدا عملکرد این دو زیرمجموعه شتابنگاشت نسبت به هم در تخمین پاسخ دینامیکی این قاب‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. همانطوری که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود، عملکرد زیرمجموعه‌های I و II به جز در تخمین شتاب مطلق طبقات و تا حدودی MIDR، اختلاف قابل توجهی نداشته‌اند. در تخمین شتاب مطلق طبقات، زیرمجموعه II تخمین‌های دست بالاتر



شکل ۱۵: مقادیر نسبی  $\alpha$  قاب‌های نامنظم سه طبقه و دارای پرود  $0.3/3$  ثانیه برای پارامترهای پاسخ: الف) شتاب مطلق طبقات ب) نسبت دررفت طبقات (پ) جابجایی طبقات ت) لنگر پایه ث) برش پایه ج) MIDR

Fig. 15. Empirical probability cumulative distribution curves of  $\alpha$  in case of 3-story  $T_1=0.3s$  irregular frames for: a) Absolute acceleration; b) Inter story drift ratio; c) Story displacement; d) Base moment; e) Base shear; f) MIDR



شکل ۱۶: مقادیر نسبی  $\alpha$  قاب‌های نامنظم نه طبقه و دارای پرود  $0.9/9$  ثانیه برای پارامترهای پاسخ: الف) شتاب مطلق طبقات ب) نسبت دررفت طبقات (پ) جابجایی طبقات ت) لنگر پایه ث) برش پایه ج) MIDR

Fig. 16. Empirical probability cumulative distribution curves of  $\alpha$  in case of 9-story  $T_1=0.9s$  irregular frames for: a) Absolute acceleration; b) Inter story drift ratio; c) Story displacement; d) Base moment; e) Base shear; f) MIDR

## ۸- نتیجه گیری

در این مطالعه، امکان استفاده از روش انتخاب بهینه شتابنگاشت‌ها مبتنی بر IDA که توسط غفوری آشتیانی و همکاران ارائه شده است [۶]، برای تخمین پاسخ دینامیکی قاب‌های خمشی فولادی نامنظم در ارتفاع مورد سنجش قرار گرفته است. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از این روش در تخمین پارامترهای پاسخ سازه‌هایی که لزوماً به آستانه فروریزش نرسیده‌اند، در بسیاری از موارد منجر به تخمین‌های دست‌پایینی نسبت به تخمین‌های محاسبه شده توسط مجموعه مرجع شتابنگاشت‌ها شده است. از طرف دیگر استفاده از این زیرمجموعه‌ها لزوماً باعث کاهش پراکندگی پاسخ‌ها نسبت به حالتی که از مجموعه شتابنگاشت‌های مرجع استفاده می‌شود نگشته و در تعداد قابل توجهی از قاب‌ها منجر به افزایش پراکندگی در تخمین‌ها نیز شده است. بررسی‌ها نشان داد که عملکرد این روش از نظر دقت در تخمین پارامترهای پاسخ و پراکندگی تخمین‌های به دست‌آمده توسط زیرمجموعه شتابنگاشت‌های پیشنهادی نسبت به پراکندگی تخمین‌های به دست‌آمده توسط مجموعه مرجع شتابنگاشت‌ها، در گروه‌های مختلف سازه‌ای متفاوت می‌باشد. همچنین شکل‌پذیری به عنوان یک پارامتر موثر در عملکرد روش انتخاب بهینه شتابنگاشت‌ها شناخته شده است. با توجه به مشاهدات فوق و با توجه به اینکه زیرمجموعه‌های پیشنهاد شده توسط این روش در بسیاری از موارد نسبت به سایر زیرمجموعه‌ها لزوماً دارای بهترین عملکرد نبوده‌اند، به نظر می‌رسد که برای تعمیم محدوده استفاده از آن جهت تخمین پارامترهای پاسخ سازه‌ای در سطوح عملکردی متفاوت از آستانه فروریزش نیاز به احتیاط بیشتری وجود داشته باشد. لذا پژوهش در زمینه ارائه روشی نوین برپایه ایده انتخاب بهینه شتابنگاشت‌ها براساس گروه‌بندی سازه‌ها که توانایی در نظر گرفتن صریح مشخصات موثر سازه‌ای از جمله شکل‌پذیری را داشته باشد، پیشنهاد می‌شود.

## ۹- فهرست علائم

علائم یونانی

$\alpha$  نسبت میانگین پارامترهای پاسخ تخمین زده شده توسط زیرمجموعه پیشنهادی به مقادیر مشابه تخمین زده شده توسط مجموعه مرجع شتابنگاشت‌ها

$\beta$  نسبت ضریب تغییرپذیری پارامترهای پاسخ تخمین زده شده توسط زیرمجموعه پیشنهادی به مقادیر مشابه تخمین زده شده توسط مجموعه مرجع شتابنگاشت‌ها

$\gamma$  ضریب تغییرپذیری پارامترهای پاسخ تخمین زده شده توسط روش مقیاس‌سازی  $(T_1)$  در قاب‌های نامنظم نسبت به مقادیر مشابه در قاب‌های منظم متناظر

## مراجع

- [1] ATC, Quantification of building seismic performance factors, US Department of Homeland Security, FEMA, 2009.
- [2] C.B. Haselton, G.G. Deierlein, Assessing seismic collapse safety of modern reinforced concrete moment frame buildings, Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2008.
- [3] J.C. Reyes, E. Kalkan, How many records should be used in an ASCE/SEI-7 ground motion scaling procedure?, Earthquake Spectra, 28(3) (2012) 1223-1242.
- [4] S.A. Moghaddam, M. Ghafory-Ashtiany, Evaluation of a recently proposed ground motion selection method in case of vertically irregular frames, Journal of Seismology and Earthquake Engineering, 17(3) (2016) 165-180.
- [5] M. Ghafory-Ashtiany, S. Arian-Moghaddam, Strong ground motion record selection; approaches, challenges and prospects, in: 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), Prague, Czech, 2015.
- [6] M. Ghafory-Ashtiany, M. Mousavi, A. Azarbakht, Strong ground motion record selection for the reliable prediction of the mean seismic collapse capacity of a structure group, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 40(6) (2011) 691-708.
- [7] M. Molavi, M. Ghafory-Ashtiany, S. Arian-Moghaddam, Evaluation of the optimized IDA based ground motion record selection method in case of steel moment-resisting frames, Bulletin Of Earthquake Science And Engineering, (2017), (in persian).
- [8] M. De Stefano, B. Pintucchi, A review of research on seismic behaviour of irregular building structures since 2002, Bulletin of Earthquake Engineering, 6(2) (2008) 285-308.
- [9] BHRC, Iran's seismic provisions for design of buildings (2800 Standard), 4th ed, (in persian).
- [10] D.P. Soni, B.B. Mistry, Qualitative review of seismic response of vertically irregular building frames, ISET Journal of Earthquake Technology 43(4) (2006) 121-132.
- [11] ASCE, Minimum design loads for buildings and other structures, Newton K. Gregg Publisher, 1994.
- [12] L.F. Ibarra, H. Krawinkler, Global collapse of frame structures under seismic excitations, Pacific Earthquake Engineering Research Center Berkeley, CA, 2005.
- [13] R.A. Medina, H. Krawinkler, Seismic demands for nondeteriorating frame structures and their dependence on ground motions, Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2004.



Structural response parameters, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering (IIEES), 2016, (in persian).

[16] A.S. Elnashai, L. Di Sarno, Fundamentals of earthquake engineering, Wiley New York, 2008.

[14] C. Chintanapakdee, A.K. Chopra, Evaluation of the Modal Pushover Analysis Procedure using vertically" regular" and irregular Generic Frames, University of California, Berkeley, 2002.

[15] M. Molavi, M. Ghafory-Ashtiany, Evaluation of ground motion selection and scaling methods using

جدول (پ-۱): زیرمجموعه شتابنگاشت‌های پیشنهادی روش غفوری آشتیانی و همکاران [۶]

Table 1. The SGMR subsets proposed by Ghafory-Ashtiany et al )2011( For different period ranges [6]

شماره شتابنگاشت	محدوده پریودی	زیر مجموعه شتابنگاشت‌های پیشنهادی
۴۴-۴۲-۴۱-۳۷-۳۴-۲۷-۷-۲	۰/۳- ۰/۱	I
۳۶-۳۰-۲۳-۱۹-۱۲-۷-۳-۲	۰/۵-۰/۳	II
۲۹-۲۵-۲۳-۱۹-۱۷-۱۳-۱۲-۳	۰/۷-۰/۵	II
۳۸-۳۷-۲۹-۲۳-۱۵-۱۲-۱۱-۳	۰/۹- ۰/۷	IV
۳۹-۳۵-۳۴-۱۸-۱۷-۱۲-۱۱-۳	۱/۲۵- ۰/۹	V
۴۳-۴۲-۲۶-۲۴-۲۱-۱۷-۱۲-۵	۲/۰- ۱/۲۵	VI

جدول (پ-۲): لیست شتابنگاشت‌های موجود در مجموعه مرجع مورد استفاده در این مطالعه

Table 2. The list of general set of SGMs used in this study

ردیف	رخداد	ایستگاه ثبت شتابنگاشت
1	MANJIL 90	MANJIL, IRAN LONGITUDINAL COMP
2		MANJIL, IRAN TRANSVERSE COMP
3	KOCAELI 99	ARCELIK, 000
4		ARCELIK, 090
5	FRIULI, ITALY 76	TOLMEZZO, 000
6		TOLMEZZO, 270
7	SUPERSTITION HILLS 87	EL CENTRO IMP CO CENTER, 000
8		EL CENTRO IMP CO CENTER, 090
9	DUZCE 99	BOLU, 000
10		BOLU, 090
11	SUPERSTITION HILLS 87	POE, 270
12		POE, 360

13		CAPITOLA, 000
14	LOMA PRIETA 89	CAPITOLA, 090
15		CHY101, E
16	CHI-CHI 99	CHY101, N
17		COOLWATER, LN
18	LANDERS 92	COOLWATER, TR
19		DUZCE, 180
20	KOCAELI 99	DUZCE, 270
21		GILROY ARRAY #3,000
22	LOMA PRIETA 89	GILROY ARRAY #3,090
23		DELTA, 262
24		DELTA, 352
25	IMPERIAL VALLEY 79	EL CENTRO ARRAY #11,140
26		EL CENTRO ARRAY #11,230
27		HEC, 000
28	HECTOR MINE 99	HEC, 090
29		CANYON COUNTRY - W LOST CANYON,000
30		CANYON COUNTRY - W LOST CANYON, 270
31	NORTHRIDGE 94	BEVERLY HILLS - 14145 MULH, 009
32		BEVERLY HILLS - 14145 MULH, 279
33		NISHI-AKASHI, 000
34	KOBE 95	NISHI-AKASHI, 090
35		LA HOLLYWOOD STOR LOT, 090
36	SAN FERNANDO 71	LA HOLLYWOOD STOR LOT, 180
37		RIO DELL OVERPASS FF, 270
38	CAPE MENDOCINO 92	RIO DELL OVERPASS FF, 360
39		SHIN-OSAKA, 000
40	KOBE 95	SHIN-OSAKA, 090
41		TCU045, E
42	CHI-CHI 99	TCU045, N
43		YERMO FIRE STATION, 270
44	LANDERS 92	YERMO FIRE STATION, 360

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

M. Molavi, M. Ghafory-Ashtiany, S. Arian-Moghaddam, Evaluation of the Ground Motion Record Selection Method for Structure Groups In Case Of Generic Steel Moment-Resisting Frames, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(5) (2018) 987-1002.

DOI: 10.22060/ceej.2017.12876.5282



