

## چکیده

انتخاب تعداد محدودی شتاب‌نگاشت جهت دستیابی به تخمین‌های قابل اتکا از پارامترهای تقاضای مهندسی یکی از چالش‌های موجود جهت تحلیل‌های تاریخیچه زمانی غیرخطی به‌عنوان گام مهمی در چارچوب مهندسی زلزله عملکردی می‌باشد. گروه‌بندی سازه‌ها بر اساس مشخصات دینامیکی و انتخاب بهینه‌ی شتاب‌نگاشت‌های مورد نیاز از یک مجموعه مرجع مناسب برای هر کدام از این گروه‌ها، یکی از ایده‌های مطرح شده در سال‌های اخیر است که پتانسیل کاهش هزینه‌ی محاسباتی تحلیل را فراهم می‌آورد. با توجه به اینکه هدف این روش تخمین ظرفیت فروریزش سازه‌ها بر مبنای تحلیل دینامیکی فزاینده (IDA) با استفاده از تعداد محدودی شتاب‌نگاشت با حفظ سطح قابلیت اطمینان پاسخ‌ها عنوان شده است، امکان تعمیم کاربرد آن در سایر سطوح عملکردی نیاز به بررسی بیشتر دارد. در مقاله‌ی حاضر، به امکان‌سنجی استفاده از روش انتخاب بهینه شتاب‌نگاشت‌ها در تخمین پاسخ دینامیکی قاب‌های خمشی فولادی با تنوعی از مشخصات دینامیکی که لزوماً سطح عملکردی آستانه فروریزش را تجربه نخواهند کرد، پرداخته شده است. قاب‌های مورد مطالعه به لحاظ مقاومت و سختی در زمره سازه‌های منظم در ارتفاع قرار می‌گیرند. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که تعمیم محدوده‌ی استفاده از روش انتخاب بهینه شتاب‌نگاشت‌ها جهت تخمین پاسخ‌های دینامیکی در سطوح عملکردی متفاوت از آستانه‌ی فروریزش، صرفاً با تخفیف در دقت مورد انتظار امکان‌پذیر است. همچنین، نشان داده شد که زیرمجموعه‌های پیشنهاد شده در روش انتخاب مورد بررسی لزوماً دارای بهترین عملکرد نسبت به سایر زیرمجموعه‌ها نبوده‌اند. این مشاهده را می‌توان به عدم وقوع فروریزش در اغلب سازه‌های مورد بررسی نسبت داد.

**واژگان کلیدی:** تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی، انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها، پارامترهای تقاضای مهندسی، قاب‌های خمشی فولادی.

## سنجش کارایی روش انتخاب بهینه شتاب‌نگاشت‌ها مبتنی بر IDA در تخمین پاسخ دینامیکی قاب‌های خمشی فولادی

میلاذ مولوی

کارشناس ارشد مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، عضو انجمن زلزله ایران

محسن غفوری آشتیانی (نویسنده مسئول)

استاد پژوهشگر سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و

مهندسی زلزله، رئیس انجمن مهندسی زلزله ایران

ashtiany@iiees.ac.ir

سالار آرین مقدم

دانشجوی دکتری مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و

مهندسی زلزله، عضو انجمن زلزله ایران

## ۱- مقدمه

جهت انطباق میانگین طیف پاسخ آنها بر طیف خطر یکنواخت (UHS) به‌عنوان طیف هدف می‌باشد [۱-۲]. انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها بر اساس سناریوی غالب، اگرچه با توجه به ساده بودن آن مرسوم است، اما شواهد کافی برای تأیید این ادعا که انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها مبتنی بر آن بهترین روش ممکن است، وجود ندارد [۳]. همچنین منطبق کردن طیف میانگین پاسخ شتاب‌نگاشت‌ها بر طیف خطر یکنواخت در بیشتر اوقات محافظه‌کارانه است [۲ و ۴]. مورد اخیر را می‌توان به این امر

انتخاب تعداد محدودی شتاب‌نگاشت جهت دستیابی به تخمین‌های قابل اتکا از پارامترهای تقاضای مهندسی یکی از چالش‌های موجود جهت تحلیل‌های تاریخیچه زمانی غیرخطی به‌عنوان گام مهمی در چارچوب مهندسی زلزله عملکردی می‌باشد. در ضوابط استانداردهای طرح لرزه‌ای موجود عموماً شرط نخست برای انتخاب شتاب‌نگاشت‌های ورودی تحلیل تاریخیچه زمانی، سازگاری بزرگ و فاصله رکورد ثبت شده انتخابی با سناریوی غالب ساختگاه در کنار مقیاس‌سازی آنها

طبقات نسبت به ارتفاع هر طبقه (MIDR). یک گروه از سازه‌های قاب خمشی فولادی یک‌دهانه با ارتفاع ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ طبقه که به لحاظ مقاومت و سختی در زمره سازه‌های منظم قرار می‌گیرند، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در مطالعه‌ی حاضر از یک مجموعه مرجع که شامل ۴۴ شتاب‌نگاشت حوزه دور می‌باشد 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.

## 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 سازه‌ها که در ادامه به آنها «قاب‌های فولادی» خواهیم گفت، به صورتی طراحی شده‌اند که تغییرات سختی و مقاومت در طبقات آنها به شکل تدریجی باشد. قاب‌های فولادی به صورت ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ طبقه و در دو نوع رفتار دینامیکی سخت و نرم به ترتیب دارای پیوند مود اول ۰/۱ و ۰/۲ برابر تعداد طبقات (شکل ۱)، به گونه‌ای طراحی شده‌اند که در هنگام قرار گرفتن در معرض بار جانبی دارای الگوی بار معادل استاتیکی مطابق با ضوابط استاندارد [۲۸۰۰، ۹]، جابه‌جایی نسبی طبقات مختلف آنها به‌طور تقریبی یکسان شوند. جرم هر طبقه ۲۰ تن، ارتفاع هر طبقه ۳/۵ متر و عرض دهانه‌ی قاب‌ها ۷ متر در نظر گرفته شده است. در طراحی این قاب‌ها فلسفه‌ی تیر ضعیف-ستون قوی لحاظ گردیده 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 طبقات دیگر به‌صورت الاستیک باقی بمانند. مدل رفتاری مفاصل

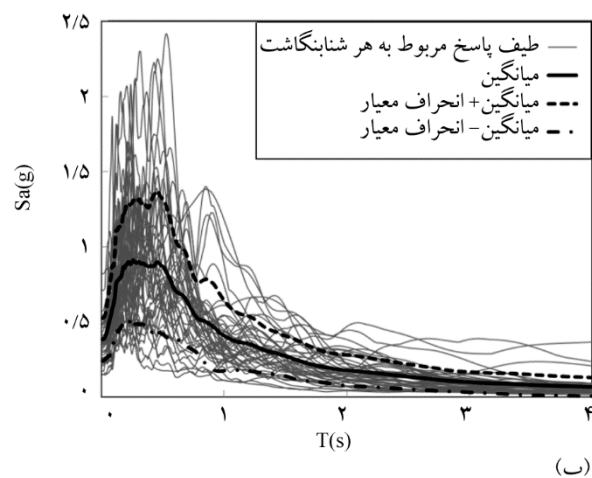
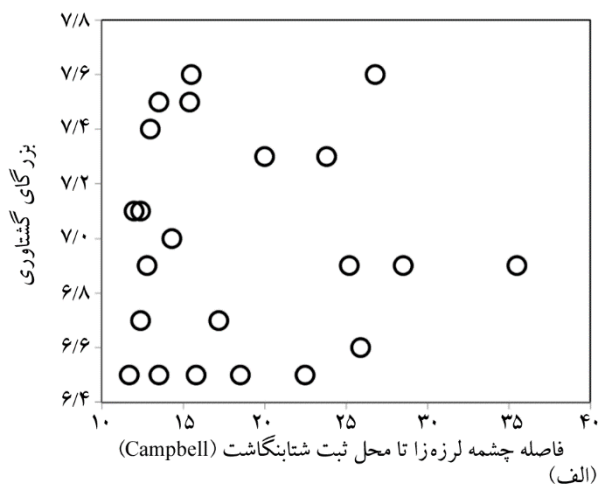
نسبت داد که طیف خطر یکنواخت، حاصل در نظر گرفتن مجموعه‌ای از رخدادهای لرزه‌ای در فواصل و بزرگسای مختلف بوده و از این‌رو در محدوده پیوندی وسیعی مقادیر این طیف نسبت به طیف پاسخ یک رکورد زلزله بالاتر خواهد بود [۴-۶]. در نظر گرفتن شکل طیف در روند انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها، می‌تواند منجر به کاهش تمایل آماری و پراکندگی در تخمین پارامترهای پاسخ سازه‌ای شود [۵]. نشان داده شده است که اسپیلون (ε) به معنای میزان اختلاف بین شتاب طیفی یک شتاب‌نگاشت با میانگین طیفی محاسبه شده توسط روابط کاهندگی در پیوند مورد نظر، می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای شکل طیف به کار رود [۷]. استفاده از شاخص‌های توصیف‌کننده شکل طیف در فرایند انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها اگرچه دارای توانایی بالاتری نسبت به روش‌های پیشین است، اما فرایند انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها در این روش باید به‌صورت ویژه برای هر کدام از سازه‌های مورد تحلیل تکرار شود. غفوری آشتیانی و همکاران [۸] در سال ۲۰۱۱ ایده گروه‌بندی سازه‌ها بر اساس مشخصات لرزه‌ای و انتخاب بهینه شتاب‌نگاشت‌های مورد نیاز از یک مجموعه مرجع مناسب را برای هر کدام از این گروه‌ها مطرح کردند. امکان استفاده از زیرمجموعه منتخب، برای تحلیل سازه‌هایی که با توجه به رفتار دینامیکی خود در هر کدام از گروه‌های از پیش تعیین شده قرار می‌گیرند، از ویژگی‌های مثبت و جذاب این روش در کارهای عملی است.

با توجه به اینکه هدف از این روش تخمین ظرفیت فروریزش سازه‌ها بر مبنای IDA با استفاده از تعداد محدودی شتاب‌نگاشت در کنار حفظ سطح قابلیت اطمینان پاسخ‌ها عنوان شده است، تعمیم استفاده از آن در تخمین پارامترهای پاسخ سازه‌ای پیش از وقوع فروریزش نیاز به بررسی‌های بیشتر دارد. تمرکز مطالعه‌ی حاضر بر امکان‌سنجی کاربرد روش انتخاب بهینه شتاب‌نگاشت‌ها جهت تخمین پاسخ دینامیکی قاب‌های خمشی فولادی است. پارامترهای پاسخ در نظر گرفته شده عبارتند از: شتاب مطلق طبقات، جابه‌جایی نسبی طبقات (دریافت نسبی هر طبقه)، جابه‌جایی طبقات، لنگر پایه، برش پایه و بیشینه جابه‌جایی نسبی

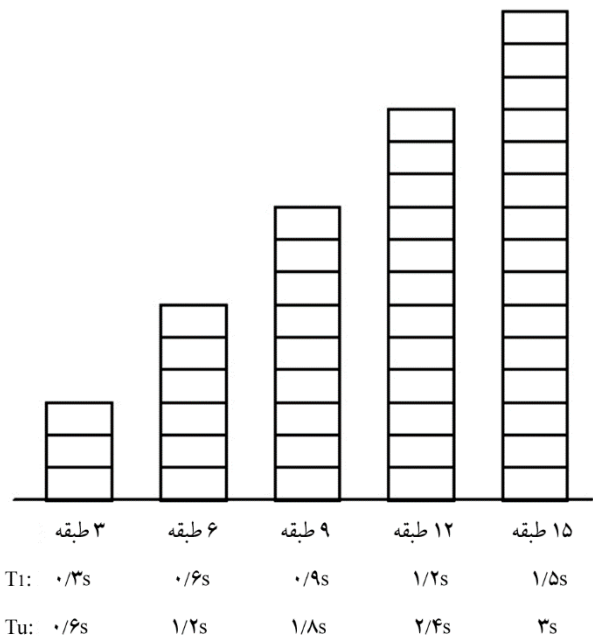
در مراجع [۱۰-۱۲] نیز مورد استفاده قرار گرفته است. این بانک قاب‌های فولادی به‌منظور بررسی جامع در زمینه‌ی روش‌های انتخاب و مقیاس‌سازی شتاب‌نگاشت‌ها تهیه و مورد استفاده قرار گرفته است [۱۳].

### ۳- شتاب‌نگاشت‌ها و طیف‌های طرح مورد استفاده

در این مطالعه، یک مجموعه مرجع شامل ۴۴ شتاب‌نگاشت حوزه دور مورد استفاده قرار گرفته است. این مجموعه در پروژه ATC63 [۱۴] که با هدف سنجش صحت ضوابط طراحی لرزه‌ای سازه‌ها تعریف شده نیز مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل (۲-الف) پراکندگی بزرگا-فاصله شتاب‌نگاشت‌های موجود در این مجموعه مرجع نشان داده شده است.



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



شکل (۱): قاب‌های فولادی یک دهانه دارای تعداد طبقات ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ طبقه مورد استفاده در این مطالعه.

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 [۹] به‌طور هم‌زمان جاری شوند. برش پایه طرح برابر با پاسخ طیف شتاب طرح در پیوند 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 پیوند مود غالب و ۴ مقدار برای شکل‌پذیری) برای هر قاب با تعداد طبقات مشخص و جمعاً ۴۰ قاب منظم خواهیم داشت. میرایی قاب‌ها به‌صورت رایلی فرض شده و ضرایب آن طوری تعیین شده است که نسبت میرایی مود اول و اولین مودی که ضریب مشارکت جرمی تجمع آن بیشتر از ۹۵٪ می‌باشد، معادل با ۵٪ شوند. همچنین در طراحی قاب‌ها اثر P-Δ کلی (Global P-delta) در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که ایده‌ی مدل‌سازی این نوع قاب‌ها پیش‌تر

میانگین طیف‌های با شکل‌پذیری ثابت برای مجموعه شتاب‌نگاشت مرجع که بیشینه شتاب حرکت زمین آنها به  $0.35g$  مقیاس شده است تحت ضرایب شکل‌پذیری  $2, 4, 6$  از طریق تحلیل تاریخچه زمانی سازه‌های یک درجه آزاد غیرخطی متناظر محاسبه شده‌اند. در مرحله بعد، پس از هموارسازی طیف‌های میانگین به دست آمده کنترل شده است که از دوسوم برابر طیف غیرخطی نیومارک با شکل‌پذیری متناظر که از تقسیم طیف طرح الاستیک استاندارد  $2800$  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 (۱) بوده است [۱۶]. سپس، طیف غیرخطی حاصل به عنوان طیف طرح در نظر گرفته شده است. طیف‌های طرح به دست آمده مبتنی بر فرایند مذکور در شکل (۳) نمایش داده شده‌اند.

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

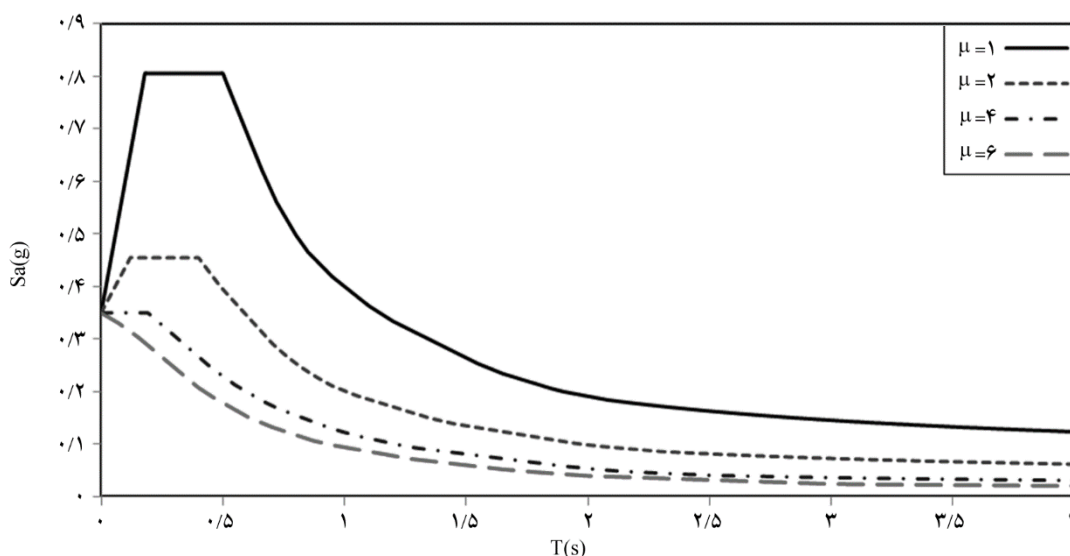
#### ۴- ارزیابی کارایی روش مقیاس‌سازی بر اساس هدف $S_a(T_1)$

همان‌طور که پیش‌تر عنوان گردید، در این مطالعه، مقیاس‌سازی

در شکل (۲-ب) طیف پاسخ هر یک از آنها در کنار میانگین طیفی این  $44$  شتاب‌نگاشت نمایش داده شده‌اند. اطلاعات بیشتر در مورد معیارهای کامل انتخاب آنها، در مرجع [۱۵] موجود می‌باشد. همچنین مشخصات شتاب‌نگاشت‌های مجموعه مرجع مورد استفاده، در جدول (پ-۲) موجود است.

با توجه به اینکه طراحی سازه‌ها برای چهار سطح مقاومتی مختلف متناظر با شکل‌پذیری ثابت  $1, 2, 4, 6$  و  $6$  مورد نظر می‌باشد، علاوه بر نیاز به طیف طرح الاستیک ( $\mu=1$ )، به طیف‌های طرح غیرالاستیک در سه سطح شکل‌پذیری  $2, 4, 6$  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  $2800$  [۹] معادل با  $0.35g$  تعیین شده است، در ابتدا میانگین طیف پاسخ مجموعه شتاب‌نگاشت مرجع که بیشینه شتاب همه آنها به  $0.35g$  مقیاس شده مورد محاسبه قرار گرفته و در مرحله‌ی بعد پس از هموارسازی طیف میانگین به دست آمده، کنترل شده است که این طیف در هیچ پریودی کمتر از دوسوم 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



شکل (۳): طیف‌های طرح مورد استفاده در این مطالعه.

شکل‌پذیری قاب‌ها رابطه‌ی مستقیمی با افزایش پراکندگی داشته است. این در حالی است که این مورد در تخمین جابه‌جایی نسبی طبقات و MIDR صرفاً در قاب‌های ۳ طبقه دارای رفتار دینامیکی سخت و نرم و قاب‌های ۶ طبقه با رفتار دینامیکی سخت قابل مشاهده است. در سایر قاب‌ها اگرچه شکل‌پذیری به‌عنوان عاملی مؤثر عمل نموده است، اما الگوی مشخصی برای آن نسبت به میزان پراکندگی مشاهده نمی‌شود.

توجه به این نکته لازم است که میزان حساسیت انتخاب زیرمجموعه شتاب‌نگاشت‌های مناسب از یک مجموعه مرجع، کاملاً می‌تواند به مقدار پراکندگی تخمین‌های محاسبه شده با کاربرد مجموعه مرجع شتاب‌نگاشت‌ها وابسته باشد.

#### ۵- ارزیابی روش انتخاب بهینه شتاب‌نگاشت‌ها از نظر

#### تخمین تقاضای میانگین پارامترهای پاسخ

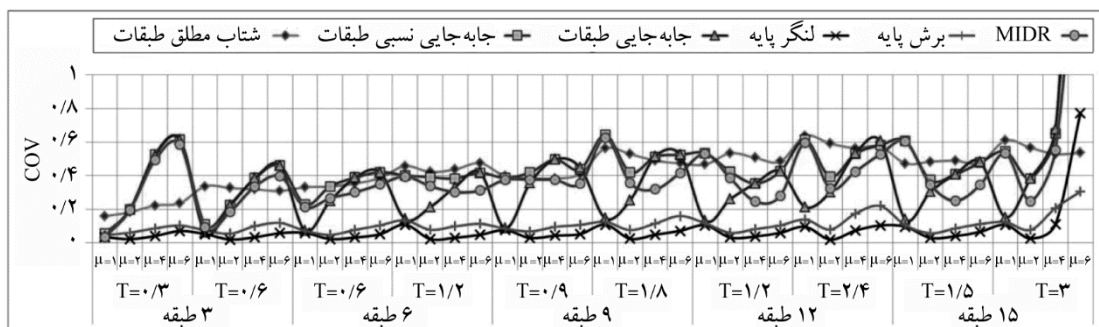
برای ارزیابی روش انتخاب بهینه شتاب‌نگاشت‌ها از نظر تخمین تقاضای میانگین پارامترهای پاسخ، در ابتدا پارامترهای  $\alpha$  و  $\beta$  به‌صورت روابط (۲) و (۳) تعریف شده‌اند.

$$\alpha = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n EDP_{Subset i}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n EDP_{Generalset}} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{COV(EDP_{Subset i})}{COV(EDP_{General set})} \quad (3)$$

شتاب‌نگاشت‌ها جهت انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی به‌گونه‌ای انجام شده است که مقدار پاسخ شتاب طیفی هر کدام از آنها در پی‌ریود مود اول سازه مورد تحلیل معادل با مقدار متناظر در طیف هدف برابر شود. پراکندگی بیشتر در تخمین‌های به‌دست آمده توسط هر روش مقیاس‌سازی به کارایی کمتر آن روش تعبیر می‌شود. در این مطالعه، از ضریب تغییرپذیری (COV) که برابر با انحراف معیار تقسیم‌بر میانگین یک جامعه‌ی آماری می‌باشد، به‌عنوان شاخصی از پراکندگی تخمین‌ها استفاده شده است.

در شکل (۴) ضرایب تغییرپذیری تخمین‌های به‌دست آمده با استفاده از ۴۴ شتاب‌نگاشت مجموعه مرجع مقیاس شده بر مبنای  $Sa(T_1)$  هدف، برای ۴۰ قاب منتخب در این مطالعه نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که در مورد پارامترهای پاسخی که در تمام طبقات ثبت شده‌اند (مانند شتاب مطلق طبقات)، بیشینه ضریب تغییرپذیری آن پارامتر در بین همه طبقات، جهت رسم شکل (۴) استفاده شده است. با توجه به این شکل، کارایی این روش مقیاس‌سازی در تخمین پارامترهای مختلف پاسخ متفاوت است، به‌طوری‌که کارایی آن در اکثر موارد در تخمین لنگر و برش پایه بیشتر از سایر پارامترهای پاسخ است. همچنین، قابل مشاهده است که میزان پراکندگی تخمین‌های به‌دست آمده می‌تواند وابسته به مشخصات سازه‌ی مورد تحلیل باشد. شکل‌پذیری قاب‌ها به‌خصوص در پارامترهای پاسخ از جنس جابه‌جایی دارای تأثیر قابل‌توجهی بر ضرایب تغییرپذیری بوده است. در تخمین جابه‌جایی طبقات، افزایش



شکل (۴): ضریب تغییرپذیری پارامترهای پاسخ مختلف تخمین‌زده شده توسط روش  $Sa(T_1)$  در قاب‌های فولادی.

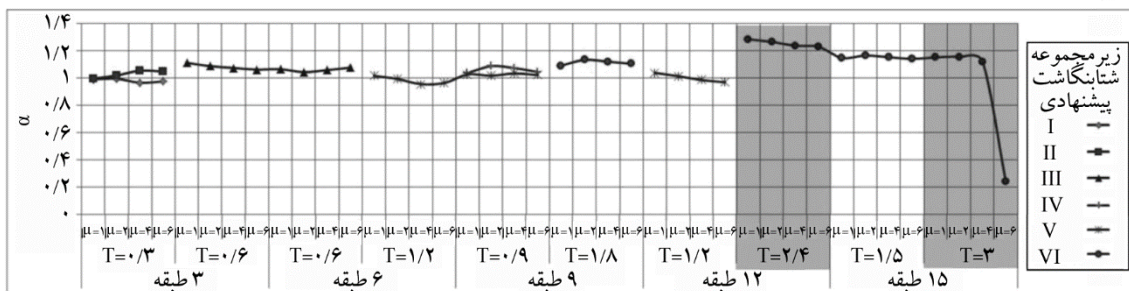


تخمین های محاسبه شده توسط زیرمجموعه شتاب نگاشت های پیشنهادی نسبت به مقادیر محاسبه شده توسط مجموعه مرجع شتاب نگاشت ها است. در ادامه به بررسی مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  در تخمین پارامترهای پاسخ قاب های فولادی و نامنظم پرداخته شده است. توجه به این نکته خالی از لطف نیست که گروه بندی سازه ها در روش پیشنهادی [۸]، دارای کرانه بالای پریود برابر ۲ ثانیه است، بنابراین سازه های دارای پریود بالاتر از ۲ ثانیه در مرحله ی ارزیابی های عمومی به منظور افزایش قابلیت اطمینان در نتیجه گیری ها کنار گذاشته شده اند.

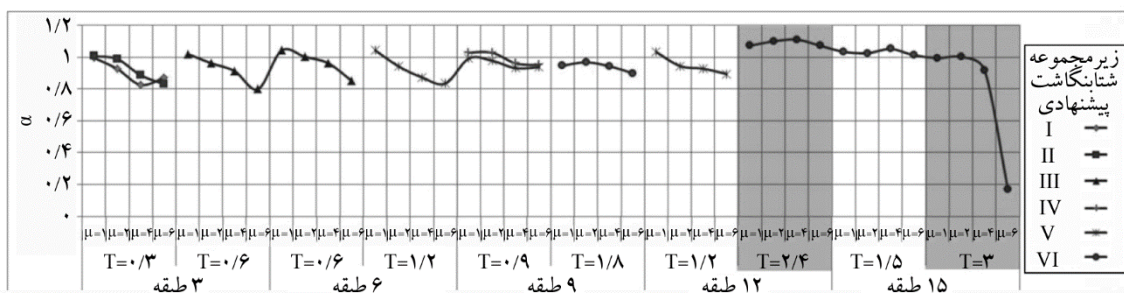
مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  محاسبه شده در تخمین پارامترهای پاسخ قاب های فولادی با استفاده از زیرمجموعه شتاب نگاشت های پیشنهاد شده به ترتیب در شکل های (۵) تا (۱۰) و (۱۱) تا (۱۶) نمایش داده شده اند. در محاسبه ی این مقادیر برای قاب های دارای پریود ۲/۴ ثانیه و ۳ ثانیه که برای آنها زیرمجموعه پیشنهادی در جدول (پ-۱) وجود نداشت از زیرمجموعه VI استفاده شده است. نتایج این قاب ها در شکل های (۵) تا (۱۶) به صورت پرننگ نمایش داده شده اند.

در این روابط،  $EDP_{subset\ i}$  پارامترهای پاسخ تخمین زده شده توسط زیرمجموعه شتاب نگاشت های  $AM_i$ ،  $EDP_{Generalset}$  پارامترهای پاسخ تخمین زده شده توسط مجموعه مرجع شتاب نگاشت ها، COV ضریب تغییر پذیری و  $n$  تعداد شتاب نگاشت های مورد استفاده جهت انجام تحلیل می باشند. زیرمجموعه  $AM_i$  می تواند هر یک از زیرمجموعه های I تا VI نشان داده شده در جدول (پ-۱) باشد. لازم به ذکر است که در مورد پاسخ هایی که در تمام طبقات قاب ها ثبت شده اند (مانند شتاب مطلق طبقات)، مقدار  $\alpha$  برای هر یک از طبقات محاسبه و میانگین آنها به عنوان شاخص عملکرد نسبی روش ها گزارش شده است؛ همچنین در مورد این دسته از پاسخ ها بیشینه ضریب تغییر پذیری در بین همه طبقات، جهت محاسبه مقدار  $\beta$  مورد استفاده قرار گرفته است.

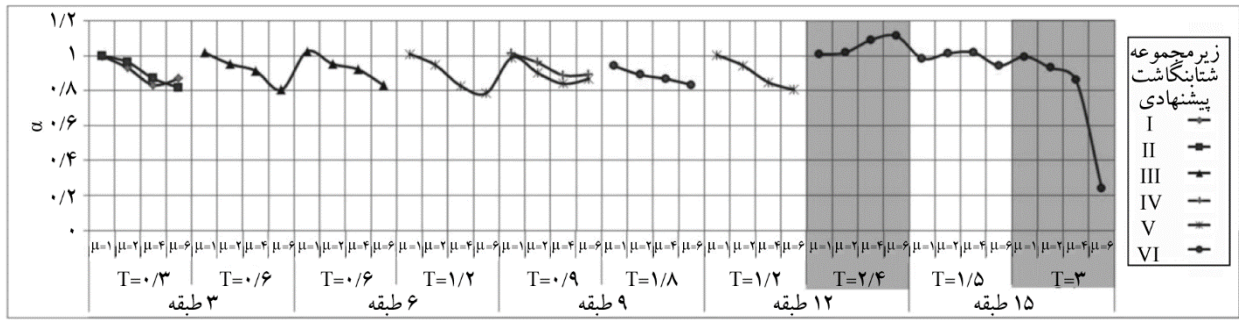
نزدیک تر بودن مقادیر  $\alpha$  به مقدار ۱، مترادف است با دقت بیشتر زیرمجموعه شتاب نگاشت های پیشنهادی در ارائه ی تخمین های برابر با مجموعه شتاب نگاشت های مرجع و کمتر بودن مقادیر  $\beta$  از مقدار ۱ به معنای کاهش در پراکندگی



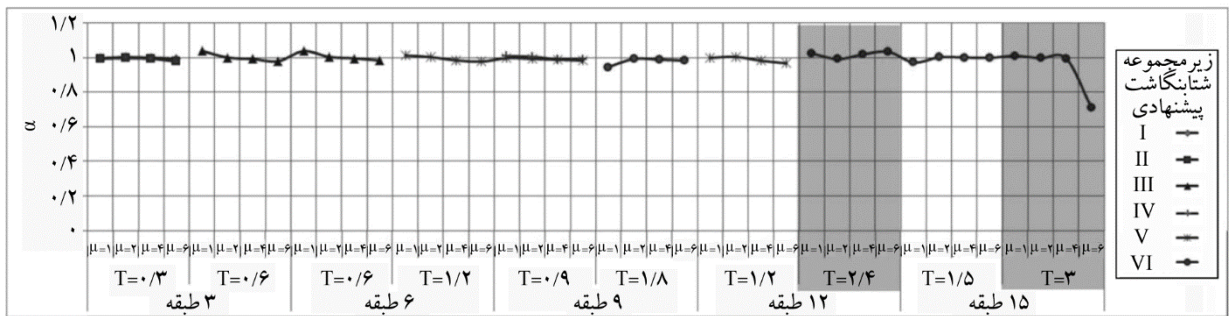
شکل (۵): مقادیر  $\alpha$  در تخمین شتاب مطلق طبقات قاب های فولادی توسط زیرمجموعه های پیشنهاد شده.



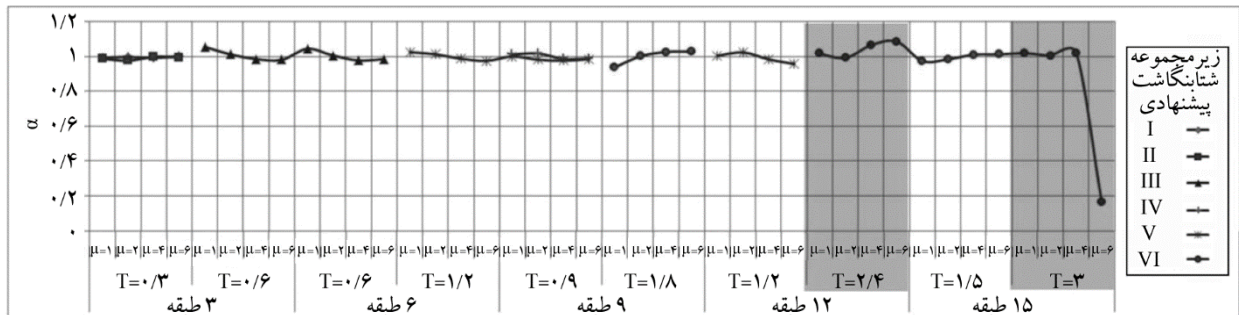
شکل (۶): مقادیر  $\alpha$  در تخمین جابه جایی نسبی طبقات قاب های فولادی توسط زیرمجموعه های پیشنهاد شده.



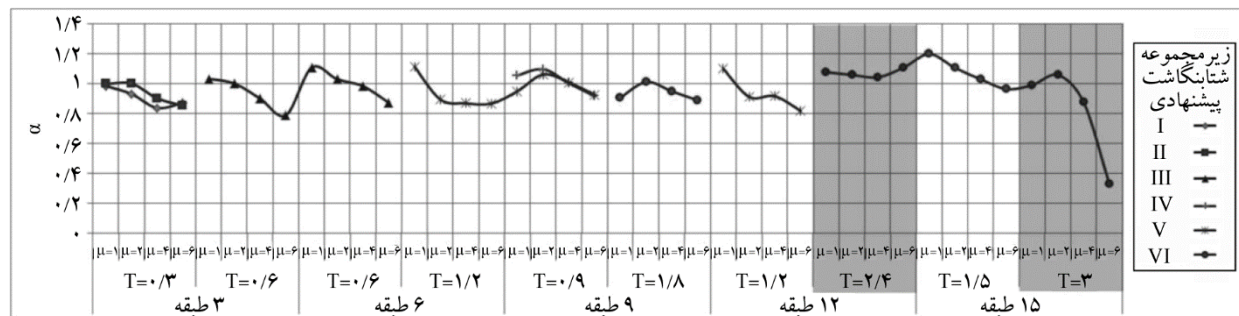
شکل (۷): مقادیر  $\alpha$  در تخمین جابه‌جایی طبقات قاب‌های فولادی توسط زیرمجموعه‌های پیشنهاد شده.



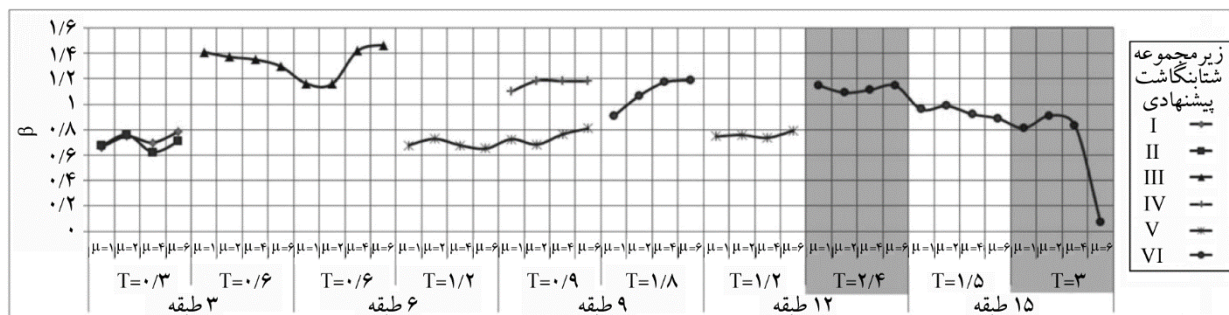
شکل (۸): مقادیر  $\alpha$  در تخمین لنگر پایه قاب‌های فولادی توسط زیرمجموعه‌های پیشنهاد شده.



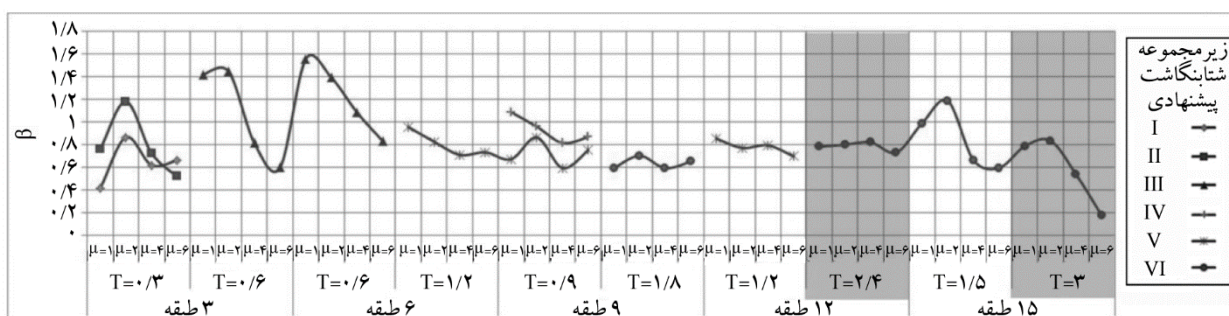
شکل (۹): مقادیر  $\alpha$  در تخمین برش پایه قاب‌های فولادی توسط زیرمجموعه‌های پیشنهاد شده.



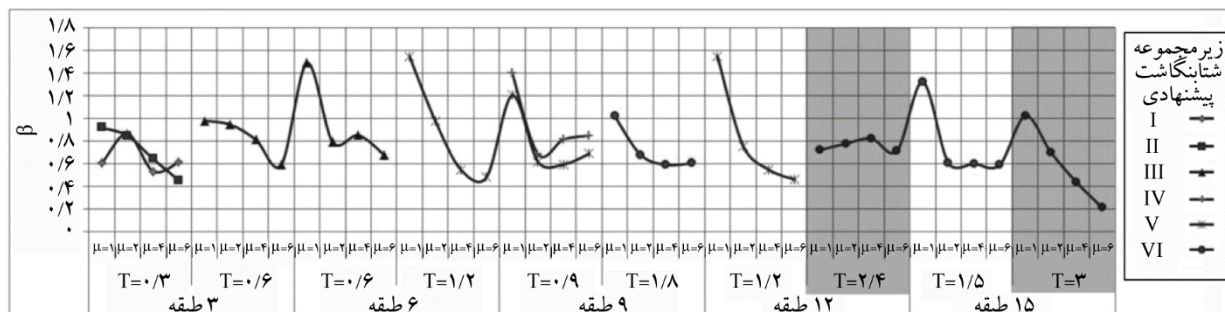
شکل (۱۰): مقادیر  $\alpha$  در تخمین MIDR قاب‌های فولادی توسط زیرمجموعه‌های پیشنهاد شده.



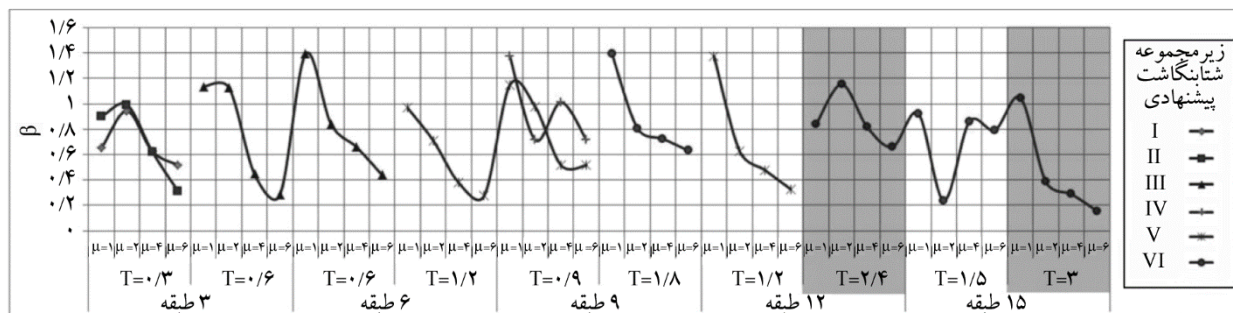
شکل (۱۱): مقادیر  $\beta$  در تخمین شتاب مطلق طبقات قاب‌های فولادی توسط زیر مجموعه‌های پیشنهاد شده.



شکل (۱۲): مقادیر  $\beta$  در تخمین جابه‌جایی نسبی طبقات قاب‌های فولادی توسط زیر مجموعه‌های پیشنهاد شده.

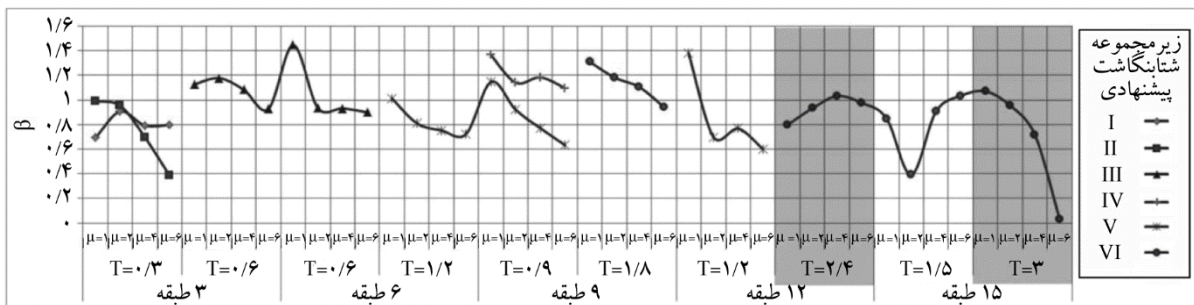


شکل (۱۳): مقادیر  $\beta$  در تخمین جابه‌جایی طبقات قاب‌های فولادی توسط زیر مجموعه‌های پیشنهاد شده.

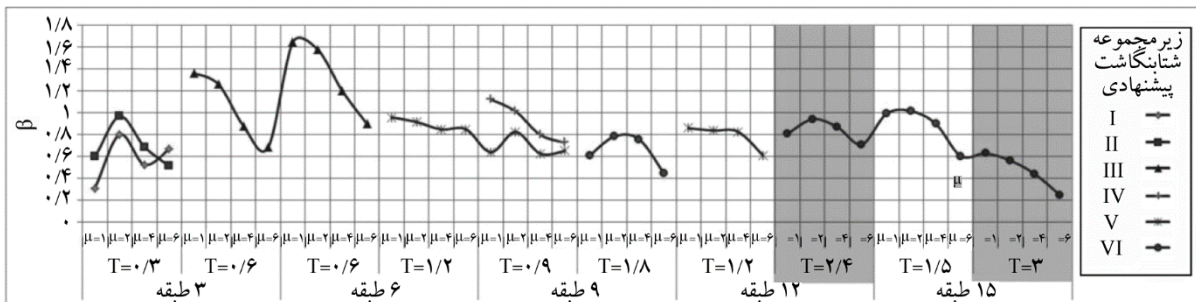


شکل (۱۴): مقادیر  $\beta$  در تخمین لنگر پایه طبقات قاب‌های فولادی توسط زیر مجموعه‌های پیشنهاد شده.





شکل (۱۵): مقادیر  $\beta$  در تخمین برش پایه طبقات قاب‌های فولادی توسط زیرمجموعه‌های پیشنهاد شده.



شکل (۱۶): مقادیر  $\beta$  در تخمین MIDR طبقات قاب‌های فولادی توسط زیرمجموعه‌های پیشنهاد شده.

لزوماً باعث کاهش پراکندگی پاسخ‌ها نسبت به حالتی که از کل شتاب‌نگاشت‌های مجموعه مرجع استفاده می‌شود نشده است. نتایج به‌دست آمده از بررسی میانگین و پراکندگی پارامترهای پاسخ، به ترتیب در جدول‌های (۱) و (۲) نمایش داده شده‌اند.

با توجه به شکل‌های (۵) تا (۱۰)، اگرچه در تعدادی از قاب‌ها، زیرمجموعه‌های پیشنهادی تخمین دقیقی از پارامترهای پاسخ ارائه داده‌اند، اما این ویژگی عمومیت نداشته است. همچنین، همان‌طور که در شکل‌های (۱۱) تا (۱۶) مشاهده می‌شود، استفاده از زیرمجموعه‌های پیشنهادی،

جدول (۱): نتایج به‌دست آمده از بررسی مقادیر  $\alpha$  زیرمجموعه شتاب‌نگاشت‌های پیشنهاد شده برای قاب‌های فولادی.

توضیحات	بیشینه $\alpha$	کمینه $\alpha$	پارامترهای پاسخ
در اکثر موارد مقادیر $\alpha$ به ۱ نزدیک می‌باشند. زیرمجموعه VI تخمین‌های به نسبت دست بالاتری داشته است.	۱/۱۶	۰/۹۵	شتاب مطلق طبقات
در اکثر موارد در قاب‌های دارای شکل‌پذیری ۱ تخمین‌ها دقیق و در قاب‌های دارای شکل‌پذیری بالاتر تخمین‌ها دست پایین بوده‌اند.	۱/۰۵	۰/۸	جابه‌جایی نسبی طبقات
در اکثر موارد در قاب‌های دارای شکل‌پذیری ۱ تخمین‌ها دقیق و در قاب‌های دارای شکل‌پذیری بالاتر تخمین‌ها دست پایین بوده‌اند.	۱/۰۲	۰/۷۹	جابه‌جایی طبقات
در اکثر قاب‌ها تخمین‌ها از دقت قابل قبولی برخوردار بوده‌اند.	۱/۰۴	۰/۹۴	لنگر پایه
در اکثر قاب‌ها تخمین‌ها از دقت قابل قبولی برخوردار بوده‌اند.	۱/۰۵	۰/۹۴	برش پایه
اکثر تخمین‌های دست پایین متعلق به قاب‌های شکل‌پذیرتر بوده است.	۱/۲	۰/۷۹	MIDR

**جدول (۲): نتایج به دست آمده از بررسی مقادیر  $\beta$  زیرمجموعه شتاب‌نگاشت‌های پیشنهاد شده برای قاب‌های فولادی.**

توضیحات	بیشینه $\beta$	کمینه $\beta$	پارامترهای پاسخ
<p>لزوماً استفاده از زیرمجموعه‌های پیشنهادی منجر به کاهش پراکندگی تخمین‌ها نشده است. پراکندگی در مورد تخمین‌های زیرمجموعه‌های III و IV زیاد بوده است.</p> <p>با اینکه در قاب‌های دارای پرپود ۰/۹ ثانیه استفاده از زیرمجموعه‌های IV و V مجاز بوده، اما پراکندگی تخمین‌ها در زیرمجموعه IV بیشتر بوده است.</p> <p>استفاده از زیرمجموعه VI در قاب‌های دارای پرپود ۱/۸ ثانیه منجر به پراکندگی بیشتر نسبت به تخمین‌های آن در قاب‌های دارای پرپود ۱/۵ ثانیه شده است.</p> <p>اختلاف نسبی عملکرد زیرمجموعه‌های I و II در تخمین پاسخ قاب‌های دارای پرپود ۰/۳ ثانیه زیاد نیست.</p>	۱/۴۷	۰/۶۲	شتاب مطلق طبقات
<p>لزوماً استفاده از زیرمجموعه‌های پیشنهادی منجر به کاهش پراکندگی تخمین‌ها نشده است.</p> <p>با اینکه در قاب‌های دارای پرپود ۰/۹ ثانیه استفاده از زیرمجموعه‌های IV و V مجاز بوده، اما پراکندگی تخمین‌ها در زیرمجموعه IV کمی بیشتر بوده است.</p> <p>زیرمجموعه III در قاب‌های دارای شکل‌پذیری پایین، تخمین‌های پراکنده‌ای را نشان داده است.</p> <p>استفاده از زیرمجموعه VI در قاب‌های دارای پرپود ۱/۵ و ۱/۸ ثانیه عملکردهای نسبتاً متفاوتی را نشان داده است.</p>	۱/۵۵	۰/۴۱	جابه‌جایی نسبی طبقات
<p>لزوماً استفاده از زیرمجموعه‌های پیشنهادی منجر به کاهش پراکندگی تخمین‌ها نشده است.</p> <p>زیرمجموعه III در قاب‌های دارای شکل‌پذیری ۱ تخمین‌های پراکنده‌ای را نشان داده است.</p> <p>در زیرمجموعه V با افزایش شکل‌پذیری قاب‌ها، مقادیر <math>\beta</math> کاهش یافته است.</p>	۱/۵۵	۰/۴۵	جابه‌جایی طبقات
<p>لزوماً استفاده از زیرمجموعه‌های پیشنهادی منجر به کاهش پراکندگی تخمین‌ها نشده است.</p> <p>در زیرمجموعه V با افزایش شکل‌پذیری قاب‌ها، مقادیر <math>\beta</math> کاهش یافته است.</p> <p>استفاده از زیرمجموعه VI در قاب‌های دارای پرپود ۱/۵ و ۱/۸ ثانیه عملکردهای نسبتاً متفاوتی را نشان داده است.</p> <p>زیرمجموعه III در قاب‌های دارای شکل‌پذیری ۱ تخمین‌های پراکنده‌ای را نشان داده است.</p>	۱/۴	۰/۲۴	لنگر پایه
<p>لزوماً استفاده از زیرمجموعه‌های پیشنهادی منجر به کاهش پراکندگی تخمین‌ها نشده است.</p> <p>با اینکه در قاب‌های دارای پرپود ۰/۹ ثانیه استفاده از زیرمجموعه‌های IV و V مجاز بوده، اما پراکندگی تخمین‌ها در زیرمجموعه IV بیشتر بوده است.</p> <p>در زیرمجموعه V با افزایش شکل‌پذیری قاب‌ها، مقادیر <math>\beta</math> عموماً دچار کاهش شده‌اند.</p>	۱/۴۵	۰/۳۸	برش پایه
<p>لزوماً استفاده از زیرمجموعه‌های پیشنهادی منجر به کاهش پراکندگی تخمین‌ها نشده است.</p> <p>با اینکه در قاب‌های دارای پرپود ۰/۹ ثانیه استفاده از زیرمجموعه‌های IV و V مجاز بوده، اما پراکندگی تخمین‌ها در زیرمجموعه IV کمی بیشتر بوده است.</p> <p>در زیرمجموعه III با افزایش شکل‌پذیری قاب‌ها، مقادیر <math>\beta</math> کاهش یافته است.</p>	۱/۶۴	۰/۳۱	MIDR

## ۶- بررسی اثر تعداد طبقات در تخمین پاسخ‌های

### دینامیکی قاب‌های هم‌پرپود

در برخی از روش‌های انتخاب و یا مقیاس‌سازی شتاب‌نگاشت‌ها، از یک سازه‌ی یک درجه آزاد معادل با مود اول سازه‌ی مورد تحلیل جهت در نظر گرفتن مشخصات دینامیکی سازه مورد نظر استفاده می‌شود. این موضوع که این ساده‌سازی تا چه حد می‌تواند بر عملکرد روش‌های انتخاب و یا

مقیاس‌سازی شتاب‌نگاشت‌ها تأثیرگذار باشد، یکی از دغدغه‌های موجود در استفاده از این روش‌ها است. در فرایند پیشنهاد زیرمجموعه شتاب‌نگاشت‌های مناسب در روش انتخاب بهینه شتاب‌نگاشت‌ها جهت گروه‌بندی سازه‌ها نیز از سازه‌های یک درجه آزاد استفاده شده است [۸]. یکی از عوامل محتمل تأثیرگذار که نحوه‌ی در نظر گرفتن تأثیر آن توسط سازه‌های یک درجه آزاد معادل مبهم می‌باشد، تعداد طبقات و یا به

قرار گرفته است. همچنین، در این جدول‌ها نسبت‌های بزرگ‌تر از  $1/2$  و کوچک‌تر از  $0/8$  با رنگ تیره نمایش داده شده‌اند. با توجه به نتایج دو جدول اخیر، در بسیاری موارد افزایش تعداد طبقات موجب تغییر بیش از ۲۰ درصدی در ضرایب تغییرپذیری تخمین‌های به‌دست‌آمده شده است. این تغییرات بیشتر به‌صورت افزایشی بوده‌اند. با توجه به اینکه در مقیاس‌سازی شتاب‌نگاشت‌ها بر اساس  $S_a(T_i)$  نیز در حقیقت از یک سازه‌ی یک درجه آزاد الاستیک معادل با مود اول سازه‌ی مرجع استفاده می‌شود، می‌توان بخشی از عدم ثبات در میزان کارایی زیرمجموعه شتاب‌نگاشت‌های پیشنهادی در تخمین پاسخ‌های دینامیکی قاب‌های هم‌پریود دارای تعداد طبقات مختلف را به فرایند مقیاس‌سازی شتاب‌نگاشت‌ها نسبت داد. شایان ذکر است کاربرد ساده‌سازی مذکور در چارچوب زلزله عملکردی متداول است [۱۷]، درحالی‌که ارزیابی‌های دقیق از تأثیرگذاری آن در نتایج در ادبیات فنی چندان پررنگ نیست.

عبارتی تعداد درجات آزادی سازه مرجع است. جهت مشاهده‌ی میزان تأثیرگذاری این مشخصه سازه‌ای، می‌بایست اثر تعداد طبقات در سازه‌های هم‌پریود مورد مطالعه قرار گیرد. مورد اخیر به دلیل حذف اثرات احتمالی ناشی از تغییر در تقاضای لرزه‌ای منتج از تغییر در پریود سازه‌ای می‌باشد. در این مطالعه، جهت بررسی اثر تعداد طبقات از قاب‌های فولادی ۳ و ۶ طبقه دارای پریود  $0/6$  ثانیه و همچنین قاب‌های ۶ و ۱۲ طبقه دارای پریود  $1/2$  ثانیه استفاده شده است. در جدول‌های (۳) و (۴) اثر تعداد طبقات بر ضرایب تغییرپذیری تخمین‌های به‌دست‌آمده از زیرمجموعه شتاب‌نگاشت‌های پیشنهادی در قاب‌های فولادی هم‌پریود دارای پریود به ترتیب  $0/6$  و  $1/2$  ثانیه نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که در مورد پارامترهای پاسخی که در تمام طبقات ثبت شده‌اند (مانند شتاب مطلق طبقات)، بیشینه ضریب تغییرپذیری آن پارامتر پاسخ در بین همه طبقات، مورد استفاده

جدول (۳): مقادیر ضرایب تغییرپذیری پارامترهای مختلف پاسخ در قاب ۶ طبقه نسبت به قاب ۳ طبقه دارای پریود یکسان  $0/6$  ثانیه.

شکل پذیری	پارامترهای پاسخ				
	شتاب مطلق طبقات	جابه‌جایی نسبی طبقات	جابه‌جایی طبقات	لنگر پایه	برش پایه
۱	۰/۸۱	۲/۲۷	۱/۷۹	۱/۳۸	۲/۸۰
۲	۰/۸۷	۱/۴۵	۰/۹۳	۰/۸۶	۱/۸۱
۴	۱/۱۷	۱/۳۴	۱/۰۶	۱/۴۲	۱/۲۲
۶	۱/۴۲	۱/۲۸	۱/۰۵	۱/۳۷	۱/۱۶

جدول (۴): مقادیر ضرایب تغییرپذیری پارامترهای مختلف پاسخ در قاب ۱۲ طبقه نسبت به قاب ۶ طبقه دارای پریود یکسان  $1/2$  ثانیه.

شکل پذیری	پارامترهای پاسخ				
	شتاب مطلق طبقات	جابه‌جایی نسبی طبقات	جابه‌جایی طبقات	لنگر پایه	برش پایه
۱	۱/۱۲	۱/۱۸	۰/۹۴	۱/۳۷	۱/۲۰
۲	۱/۳۲	۱/۰۱	۰/۹۵	۱/۲۳	۱/۰۴
۴	۱/۲۶	۱/۰۳	۱/۰۷	۱/۵۷	۰/۷۹
۶	۱/۲۴	۰/۹۷	۰/۹۷	۱/۴۹	۰/۶۴

شتاب‌نگاشت‌ها، حساسیت قابل توجهی نسبت به تعداد طبقات در قاب‌های دارای پرپود یکسان نداشته است. از طرف دیگر، با توجه به جدول‌های (۷) و (۸) افزایش تعداد طبقات در قاب‌های هم‌پرپود، در تعدادی از موارد منجر به ایجاد تغییرات بیش از ۲۰٪ در مقادیر  $\beta$  شده است. این مشاهده در قاب‌های دارای پرپود ۰/۶ ثانیه تقویت می‌شود. با وجود تأثیر مشاهده شده از تعداد طبقات بر مقادیر  $\beta$ ، روند منطقی و مشخصی از نحوه‌ی اثرگذاری آن مشاهده نشد. به‌طور مثال، در تخمین پارامتر پاسخ MIDR افزایش تعداد طبقات در قاب دارای پرپود ۰/۶ ثانیه منجر به افزایش  $\beta$  و در قاب دارای ۱/۲ ثانیه موجب کاهش این پارامتر بوده است.

جهت بررسی اثر تعداد طبقات در قاب‌های هم‌پرپود بر عملکرد زیرمجموعه شتاب‌نگاشت‌های پیشنهاد شده نسبت به عملکرد مجموعه مرجع، مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  محاسبه شده با توجه به روابط (۲) و (۳) در قاب‌های دارای تعداد طبقات ۶ و ۱۲ طبقه به ترتیب نسبت به مقادیر متناظر در قاب‌های دارای تعداد طبقات ۳ و ۶ طبقه دارای پرپود یکسان مورد محاسبه قرار گرفتند. این مقادیر در جدول‌های (۵) و (۶) برای پارامتر  $\alpha$  و در جدول‌های (۷) و (۸) برای پارامتر  $\beta$  نمایش داده شده‌اند. با توجه به جدول‌های (۵) و (۶) مشاهده می‌شود که تعداد طبقات در قاب‌های هم‌پرپود اثر قابل توجهی در مقادیر  $\alpha$  نداشته است. به‌عبارت‌دیگر، مقادیر میانگین تخمین زده شده از پاسخ‌های دینامیکی محاسبه شده با استفاده از مجموعه مرجع

جدول (۵): مقادیر  $\alpha$  پارامترهای مختلف پاسخ در قاب ۶ طبقه نسبت به قاب ۳ طبقه دارای پرپود یکسان ۰/۶ ثانیه.

شکل پذیری	پارامترهای پاسخ				
	شتاب مطلق طبقات	جابه‌جایی نسبی طبقات	جابه‌جایی طبقات	لنگر پایه	برش پایه
۱	۰/۹۶	۱/۰۲	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹
۲	۰/۹۶	۱/۰۴	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹
۴	۰/۹۹	۱/۰۵	۱/۰۱	۱/۰۰	۰/۹۹
۶	۱/۰۱	۱/۰۶	۱/۰۳	۱/۰۰	۱/۰۰

جدول (۶): مقادیر  $\alpha$  پارامترهای مختلف پاسخ در قاب ۱۲ طبقه نسبت به قاب ۶ طبقه دارای پرپود یکسان ۱/۲ ثانیه.

شکل پذیری	پارامترهای پاسخ				
	شتاب مطلق طبقات	جابه‌جایی نسبی طبقات	جابه‌جایی طبقات	لنگر پایه	برش پایه
۱	۱/۰۲	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸
۲	۱/۰۲	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۱
۴	۱/۰۳	۱/۰۶	۱/۰۳	۱/۰۰	۱/۰۰
۶	۱/۰۱	۱/۰۷	۱/۰۲	۰/۹۹	۰/۹۸

جدول (۷): مقادیر  $\beta$  پارامترهای مختلف پاسخ در قاب ۶ طبقه نسبت به قاب ۳ طبقه دارای پرپود یکسان ۰/۶ ثانیه.

شکل پذیری	پارامترهای پاسخ				
	شتاب مطلق طبقات	جابه‌جایی نسبی طبقات	جابه‌جایی طبقات	لنگر پایه	برش پایه
۱	۰/۸۲	۱/۱۰	۱/۵۲	۱/۲۳	۱/۲۸
۲	۰/۸۵	۰/۹۶	۰/۸۳	۰/۷۵	۰/۷۹
۴	۱/۰۵	۱/۳۳	۱/۰۵	۱/۴۸	۰/۸۶
۶	۱/۱۳	۱/۳۹	۱/۱۵	۱/۵۴	۰/۹۷



جدول (۸): مقادیر  $\beta$  پارامترهای مختلف پاسخ در قاب ۱۲ طبقه نسبت به قاب ۶ طبقه دارای پرئود یکسان ۱/۲ ثانیه.

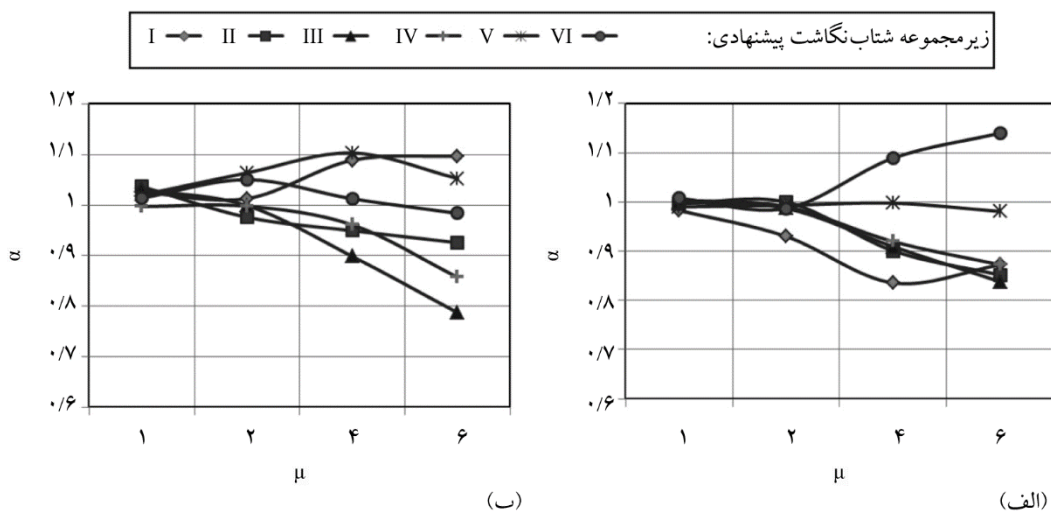
شکل پذیری	پارامترهای پاسخ				
	شتاب مطلق طبقات	جابه‌جایی نسبی طبقات	جابه‌جایی طبقات	لنگر پایه	برش پایه
۱	۱/۱۰	۰/۸۹	۱/۰۰	۱/۴۲	۱/۳۶
۲	۱/۰۴	۰/۹۳	۰/۷۷	۰/۸۸	۰/۸۶
۴	۱/۰۹	۱/۱۲	۱/۰۰	۱/۲۶	۱/۰۲
۶	۱/۲۲	۰/۹۵	۰/۹۶	۱/۱۸	۰/۸۳

## ۷- مقایسه‌ی عملکرد نسبی تمامی زیرمجموعه شتاب‌نگاشت‌های محتمل در روش پیشنهادی

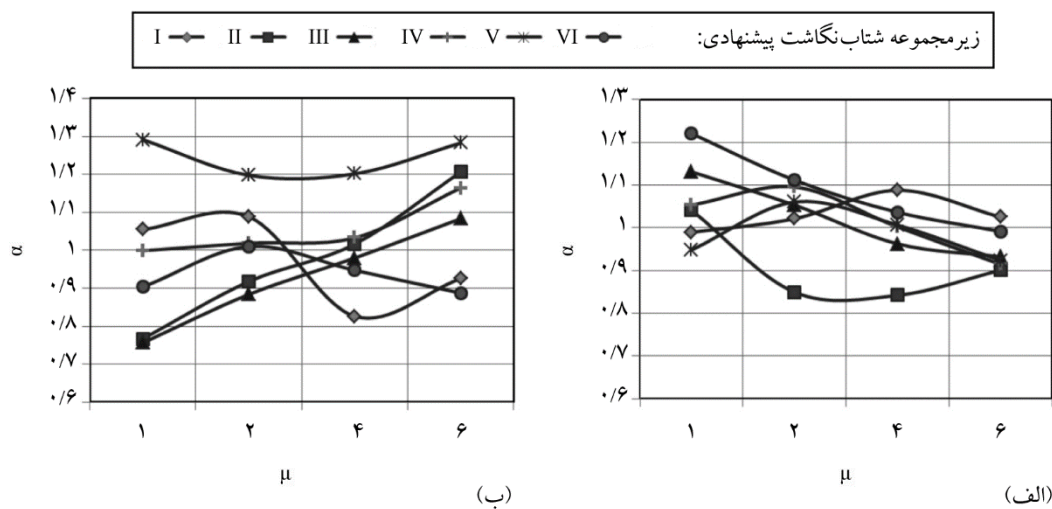
در جدول (پ-۱)، شش زیرمجموعه شتاب‌نگاشت جهت تحلیل گروه‌های مختلف سازه‌ای توسط روش انتخاب بهینه شتاب‌نگاشت‌ها پیشنهاد شده است. مقایسه‌ی عملکرد تمام این زیرمجموعه‌ها در تخمین پاسخ‌های دینامیکی قاب‌های مورد استفاده در این مطالعه، هدف بخش حاضر است. این بررسی به منظور مقایسه‌ی عملکرد نسبی زیرمجموعه شتاب‌نگاشت‌های پیشنهادی برای یک سازه مشخص نسبت به سایر زیرمجموعه‌ها صورت گرفته است. این مهم که تقلیل تعداد شتاب‌نگاشت‌ها برای انجام تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی نیازمند توجه ویژه به حفظ قابلیت اطمینان مقادیر پاسخ است، مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است [۱۸]. در شکل (۱۷)، مقادیر  $\alpha$  در تخمین پارامتر پاسخ MIDR توسط هر ۶ زیرمجموعه شتاب‌نگاشت جدول (پ-۱) برای قاب سه طبقه با رفتار دینامیکی سخت و نرم نمایش داده شده‌اند. این شکل نشان می‌دهد که در شکل پذیری ۱ (نزدیک‌ترین حالت به رفتار الاستیک کامل) عملکرد همه زیرمجموعه‌ها یکسان بوده است. بررسی‌های مشابه در سایر قاب‌ها نشان می‌دهد که این نتیجه‌گیری قابل بسط به قاب‌های دارای تعداد طبقات بالاتر از ۳ نیست. این موضوع در شکل (۱۸) برای قاب ۹ طبقه به تصویر کشیده شده است. بررسی‌ها در مورد پارامترهای پاسخ لنگر پایه و برش پایه که به ترتیب در شکل‌های (۱۹) و (۲۰) برای قاب ۹ طبقه نمایش داده شده‌اند، مشخص می‌سازد که اگرچه، زیرمجموعه شتاب‌نگاشت‌های پیشنهادی توانسته‌اند تخمین‌های نسبتاً دقیقی را ارائه دهند، سایر زیرمجموعه‌ها هم عملکرد قابل قبولی داشته‌اند.

این مورد در سایر قاب‌ها نیز مشاهده شد. مطابق با نتایج به‌دست آمده از جدول (۱) زیرمجموعه شتاب‌نگاشت پیشنهادی در قاب‌های دارای شکل پذیری ۱ تخمین‌های نسبتاً دقیقی از جابه‌جایی طبقات ارائه داده‌اند. بررسی سایر زیرمجموعه‌ها نیز در مورد این پارامتر پاسخ نشان می‌دهد که در سطح شکل پذیری مذکور اغلب تخمین‌های ارائه شده توسط آنها دقیق بوده است. این موضوع به‌عنوان نمونه برای قاب‌های ۹ طبقه در شکل (۲۱) نمایش داده شده است. تفاوت در عملکرد زیرمجموعه شتاب‌نگاشت‌های مختلف با افزایش شکل پذیری در تخمین پارامتر پاسخ جابه‌جایی نسبی طبقات، صرفاً در قاب‌های ۳ و ۶ طبقه و در قاب‌های ۹، ۱۲ و ۱۵ طبقه دارای رفتار دینامیکی سخت مشاهده شد و در سایر قاب‌ها روند مشخصی از این اختلاف نسبت به شکل پذیری قاب‌ها به دست نیامده است. در مورد تخمین پارامتر پاسخ شتاب مطلق طبقات، اختلاف عملکرد زیرمجموعه شتاب‌نگاشت‌ها در سازه‌های مختلف متنوع بوده است به طوری که اختلاف عملکرد در برخی از سازه‌ها کمتر و در برخی بیشتر مشاهده شده است. این امر در شکل (۲۲) برای قاب‌های ۹ طبقه نمایش داده شده است.

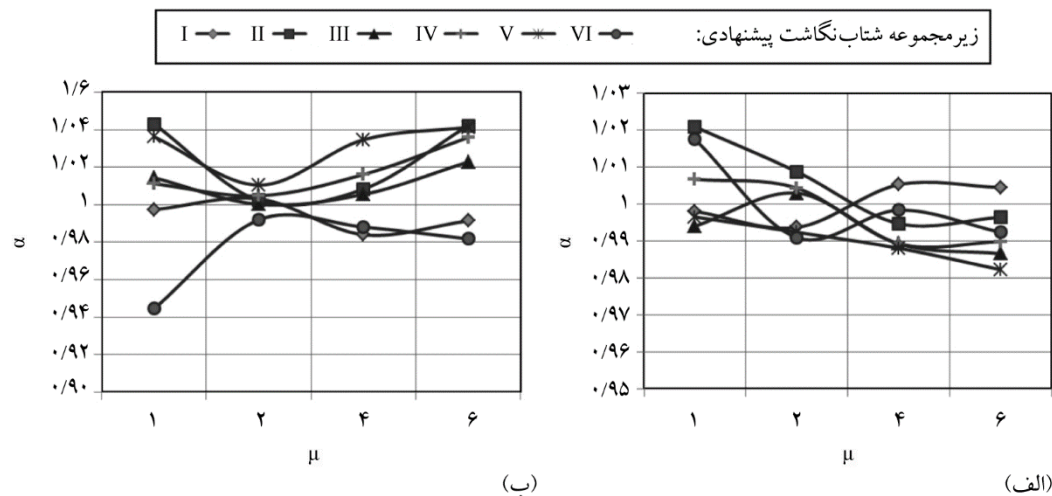
با توجه به مشاهدات به‌دست آمده در این بخش می‌توان نتیجه گرفت استفاده از زیرمجموعه شتاب‌نگاشت‌های پیشنهاد شده نسبت به سایر زیرمجموعه‌ها لزوماً منجر به تخمین‌های دقیق‌تر مخصوصاً در پارامترهای پاسخ دارای جنس جابه‌جایی و همچنین شتاب مطلق طبقات نشده است. اگرچه شواهد حاکی از آن است که اختلاف نسبی تخمین‌های به‌دست آمده از زیرمجموعه شتاب‌نگاشت‌های مختلف مورد استفاده در این مطالعه نسبت به مقدار دقیق محاسبه شده توسط مجموعه مرجع اکثراً قابل توجه نبوده‌اند.



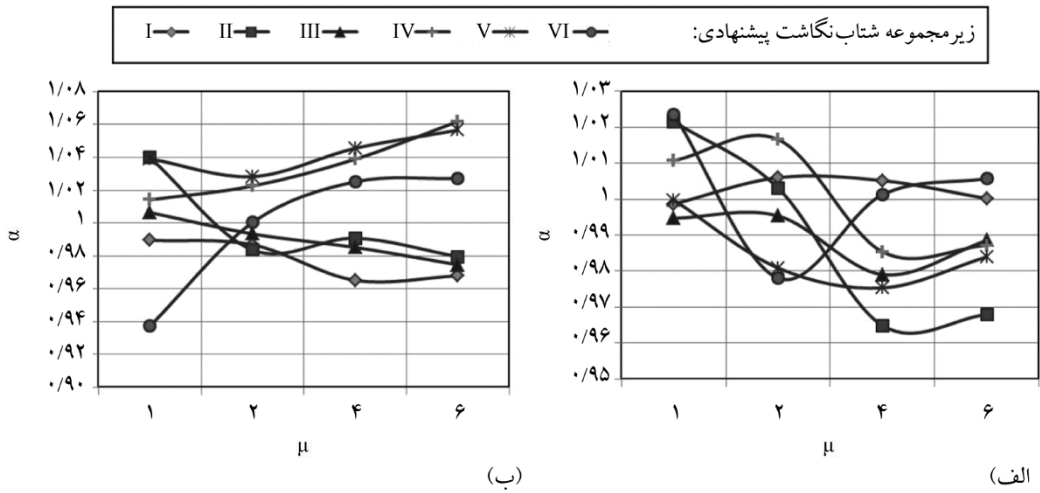
شکل (۱۷): مقادیر  $\alpha$  در تخمین MIDR توسط هر ۶ زیرمجموعه شتاب نگاشت در قاب ۳ طبقه دارای پر بود الف) ۰/۳ ثابیه ب) ۰/۶ ثابیه.



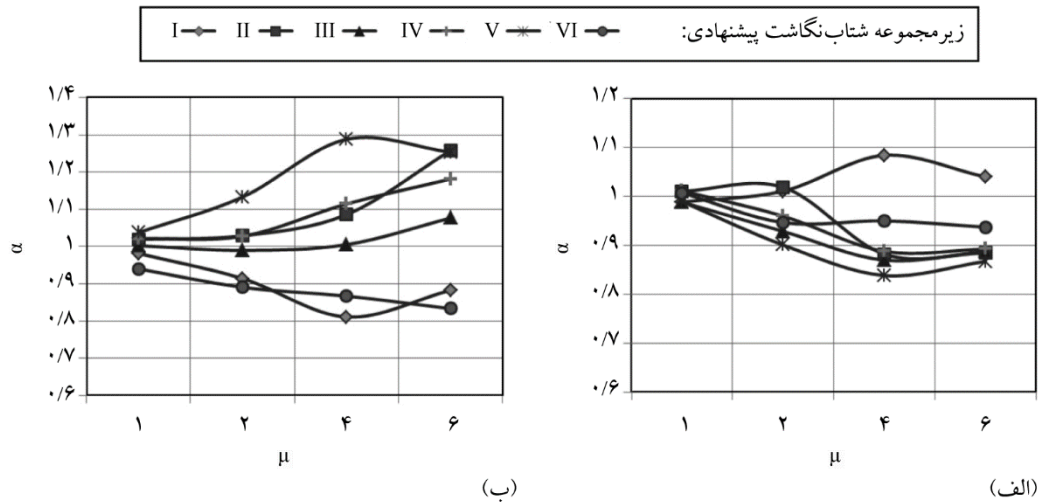
شکل (۱۸): مقادیر  $\alpha$  در تخمین MIDR توسط هر ۶ زیرمجموعه شتاب نگاشت در قاب ۹ طبقه دارای پر بود الف) ۰/۹ ثابیه ب) ۱/۸ ثابیه.



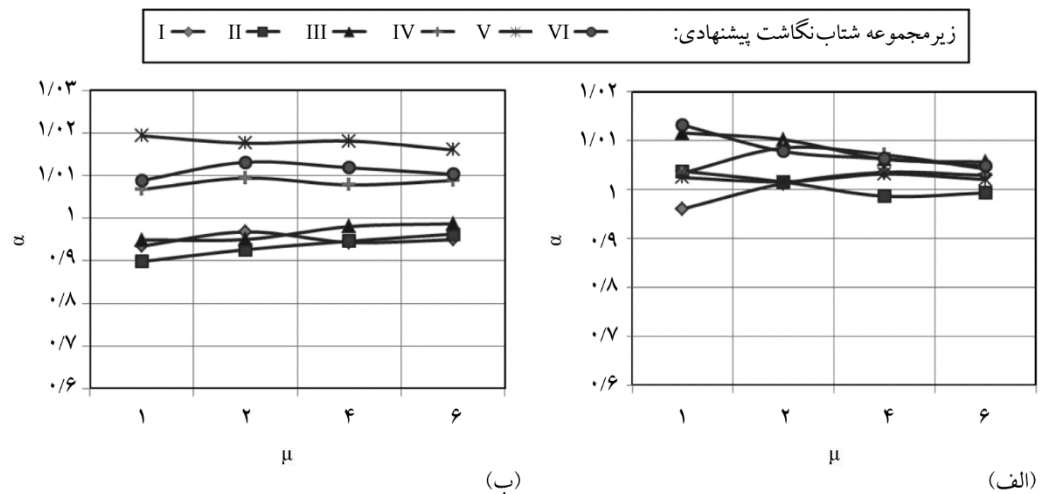
شکل (۱۹): مقادیر  $\alpha$  در تخمین لنگر پایه توسط هر ۶ زیرمجموعه شتاب نگاشت در قاب ۹ طبقه دارای پر بود الف) ۰/۹ ثابیه ب) ۱/۸ ثابیه.



شکل (۲۰): مقادیر  $\alpha$  در تخمین برش پایه توسط هر ۶ زیرمجموعه شتاب‌نگاشت در قاب ۹ طبقه دارای پرپود الف) ۰/۹ ثانیه ب) ۱/۸ ثانیه.



شکل (۲۱): مقادیر  $\alpha$  در تخمین جابه‌جایی طبقات توسط هر ۶ زیرمجموعه شتاب‌نگاشت در قاب ۹ طبقه دارای پرپود الف) ۰/۹ ثانیه ب) ۱/۸ ثانیه.



شکل (۲۲): مقادیر  $\alpha$  در تخمین شتاب مطلق طبقات توسط هر ۶ زیرمجموعه شتاب‌نگاشت در قاب ۹ طبقه دارای پرپود الف) ۰/۹ ثانیه ب) ۱/۸ ثانیه.

## ۸- نتیجه گیری

دینامیکی قاب‌های فولادی ممکن باشد. در کاربرد نتایج ارزیابی‌های این پژوهش باید به این نکته توجه داشت که تمام قاب‌های مورد مطالعه از دیدگاه رفتار دینامیکی تحت غلبه مود نخست خود بوده‌اند، بنابراین اثر مشارکت مودهای بالاتر که به نوبه خود می‌تواند ناشی از افزایش پیچیدگی در ساختار سازه‌ها باشد [۱۹]، در کارایی روش انتخاب بهینه شتاب‌نگاشت‌ها نیازمند بررسی‌های تخصصی و جامع‌تر است. با این وجود با توجه به اینکه زیرمجموعه شتاب‌نگاشت‌های پیشنهادی دارای بهترین عملکرد نسبت به سایر زیرمجموعه‌ها نبوده‌اند پژوهش در زمینه ارائه روشی نوین بر پایه ایده انتخاب بهینه شتاب‌نگاشت‌ها بر اساس گروه‌بندی سازه‌ها که توانایی در نظر گرفتن صریح مشخصات مؤثر سازه‌ای از جمله شکل‌پذیری را داشته باشد، پیشنهاد می‌شود.

## مراجع

1. Ghafory-Ashtiany, M., Azarbakht, A., and Mousavi, M. (2012) State of the art: Structure-specific strong ground motion selection by emphasizing on spectral shape indicators. *15<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal, 24-28.
2. Naeim, F., Alimoradi, A., and Pezeshk, S. (2004) Selection and scaling of ground motion time histories for structural design using genetic algorithms. *Earthquake Spectra*, **20**(2), 413-426.
3. Iervolino, I. and Cornell, C.A. (2005) Record selection for nonlinear seismic analysis of structures. *Earthquake Spectra*, **21**(3), 685-713.
4. Baker, J.W. (2010) Conditional mean spectrum: Tool for ground-motion selection. *Journal of Structural Engineering*, **137**(3), 322-331.
5. Baker, J.W. and Allin Cornell, C. (2006) Spectral shape, epsilon and record selection. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **35**(9), 1077-1095.
6. Naeim, F. and Lew, M. (1995) On the use of design spectrum compatible time histories. *Earthquake*

در این مطالعه، امکان استفاده از روش انتخاب بهینه شتاب‌نگاشت‌ها مبتنی بر IDA که توسط غفوری آشتیانی و همکاران [۸] ارائه شده است، برای تخمین پاسخ دینامیکی تنوعی از قاب‌های خمشی فولادی مورد سنجش قرار گرفت. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که استفاده از زیرمجموعه شتاب‌نگاشت‌های پیشنهاد شده در تخمین پارامترهای پاسخ لنگر و برش پایه می‌تواند تخمین‌های نسبتاً دقیقی را ارائه دهد. البته استفاده از سایر زیرمجموعه‌ها در تخمین این دو پارامتر پاسخ نیز عملکرد نسبی مشابهی را نشان داده‌اند. این مورد را می‌توان به مقدار کم پراکندگی تخمین‌های محاسبه شده از این دو پارامتر پاسخ توسط شتاب‌نگاشت‌های مجموعه مرجع مقیاس شده به  $S_a(T_1)$  هدف نسبت داد. استفاده از زیرمجموعه شتاب‌نگاشت‌های پیشنهادی در تخمین پاسخ‌ها از جنس جابه‌جایی نشان می‌دهد که در قاب‌های دارای شکل‌پذیری بیشتر عموم تخمین‌ها دست پایین بوده‌اند. این مورد به خصوص در تخمین پارامتر پاسخ جابه‌جایی طبقات به وضوح مشاهده می‌شود، به طوری که در قاب‌های دارای شکل‌پذیری ۱ تخمین‌های نسبتاً دقیقی از این پارامتر پاسخ به دست می‌آید. با این وجود، استفاده از سایر زیرمجموعه‌ها در تخمین این پارامتر پاسخ برای قاب‌های دارای شکل‌پذیری ۱ مزیت نسبی مشابهی را نشان داده‌اند. استفاده از این 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 منجر به افزایش پراکندگی در تخمین‌ها نیز شده است.

با توجه به مشاهدات صورت گرفته، در تعمیم محدوده استفاده از این روش جهت تخمین پارامترهای پاسخ سازه‌ای در سطوح عملکردی متفاوت با آستانه فروریزش، نیاز به احتیاط بیشتری وجود دارد، اگرچه به نظر می‌رسد که با تخفیف در دقت مورد انتظار، استفاده از این روش در تخمین پاسخ‌های



- University.
16. Elnashai, A.S. and Di Sarno, L. (2008) *Fundamentals of Earthquake Engineering*. New York: Wiley, p. 145.
  17. Kayhani, H., Azarbakht, A., and Ghafory-Ashtiany, M. (2013) Estimating the annual probability of failure using improved progressive incremental dynamic analysis of structural systems. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, **22**(17), 1279-1295.
  18. Reyes, J.C. and Kalkan, E. (2012) How many records should be used in an ASCE/SEI-7 groundmotion scaling procedure? *Earthquake Spectra*, **28**(3), 1223-1242.
  19. Moghaddam, S.A. and Ghafory-Ashtiany, M. (2015) Evaluation of a recently proposed ground motion selection method in case of vertically irregular frames. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, **17**(3), 165.
  7. Baker, J.W. and Allin Cornell, C. (2005) A vector-valued ground motion intensity measure consisting of spectral acceleration and epsilon. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **34**(10), 1193-1217.
  8. Ghafory-Ashtiany, M., Mousavi, M., and Azarbakht, A. (2011) Strong ground motion record selection for the reliable prediction of the mean seismic collapse capacity of a structure group. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **40**(6), 691-708.
  9. Road, Housing and Urban Development Research Center (2014) *Iran's Seismic Provisions for Design of Buildings (2800 Standard)* [in Persian].
  10. Ibarra, L.F. and Krawinkler, H. (2005) *Global Collapse of Frame Structures under Seismic Excitations*. Pacific Earthquake Engineering Research Center.
  11. Medina, R.A. and Krawinkler, H. (2004) *Seismic Demands for Nondeteriorating Frame Structures and Their Dependence on Ground Motions*. Doctoral Dissertation, Pacific Earthquake Engineering Research Center.
  12. Chintanapakdee, C. and Chopra, A.K. (2003) *Evaluation of the Modal Pushover Analysis Procedure Using Vertically "Regular" and Irregular Generic Frames*. Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California.
  13. Molavi, M. (2016) *Evaluation of Ground Motion Selection and Scaling Methods Using Structural Response Parameters*. M.Sc. Thesis, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering (IIEES) (in Persian).
  14. FEMA (2009) *Quantification of Building Seismic Performance Factors*. Federal Emergency Management Agency
  15. Haselton, C.B. (2006) *Assessing Seismic Collapse Safety of Modern Reinforced Concrete Moment Frame Buildings*. Doctoral Dissertation, Stanford

### پیوست

جدول پ-۱: زیرمجموعه شتاب‌نگاشت‌های پیشنهادی روش غفوری آشتیانی و همکاران [۸].

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

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

ایستگاه ثبت شتاب‌نگاشت	رخداد	ردیف
MANJIL, IRAN LONGITUDINAL COMP	MANJIL 1990	۱
MANJIL, IRAN TRANSVERSE COMP		۲
ARCELIK, 000	KOCAELI 1999	۳
ARCELIK, 090		۴
TOLMEZZO, 000	FRIULI, ITALY 1976	۵
TOLMEZZO, 270		۶
EL CENTRO IMP CO CENTER, 000	SUPERSTITION HILLS 1987	۷
EL CENTRO IMP CO CENTER, 090		۸
BOLU, 000	DUZCE 1999	۹
BOLU, 090		۱۰
POE, 270	SUPERSTITION HILLS 1987	۱۱
POE, 360		۱۲
CAPITOLA, 000	LOMA PRIETA 1989	۱۳
CAPITOLA, 090		۱۴
CHY101, E	CHI-CHI 1999	۱۵
CHY101, N		۱۶
COOLWATER, LN	LANDERS 1992	۱۷
COOLWATER, TR		۱۸
DUZCE, 180	KOCAELI 1999	۱۹
DUZCE, 270		۲۰
GILROY ARRAY #3, 000	LOMA PRIETA 1989	۲۱
GILROY ARRAY #3, 090		۲۲
DELTA, 262	IMPERIAL VALLEY 1979	۲۳
DELTA, 352		۲۴
EL CENTRO ARRAY #11, 140		۲۵
EL CENTRO ARRAY #11, 230		۲۶
HEC, 000	HECTOR MINE 1999	۲۷
HEC, 090		۲۸
CANYON COUNTRY - W LOST CANYON, 000	NORTHRIDGE 1994	۲۹
CANYON COUNTRY - W LOST CANYON, 270		۳۰
BEVERLY HILLS - 14145 MULH, 009		۳۱
BEVERLY HILLS - 14145 MULH, 279		۳۲
NISHI-AKASHI, 000	KOBE 1995	۳۳
NISHI-AKASHI, 090		۳۴
LA HOLLYWOOD STOR LOT, 090	SAN FERNANDO 1971	۳۵
LA HOLLYWOOD STOR LOT, 180		۳۶
RIO DELL OVERPASS FF, 270	CAPE MENDOCINO 1992	۳۷
RIO DELL OVERPASS FF, 360		۳۸
SHIN-OSAKA, 000	KOBE 1995	۳۹
SHIN-OSAKA, 090		۴۰
TCU045, E	CHI-CHI 1999	۴۱
TCU045, N		۴۲
YERMO FIRE STATION, 270	LANDERS 1992	۴۳
YERMO FIRE STATION, 360		۴۴

## Evaluation of the Ground Motion Record Selection Method for Structure Groups in case of Generic Steel Moment-Resisting Frames

Milad Molavi<sup>1</sup>, Mohsen Ghafory-Ashtiany<sup>2\*</sup>, Salar Arian-Moghaddam<sup>3</sup>

1. M.Sc. in Earthquake Engineering, IIEES, Tehran, Member of Iranian Earthquake Engineering Association Iran

2. Professor, IIEES, Tehran, President of Iranian Earthquake Engineering Association Iran,

\*Corresponding Author, email: ashtiany@iees.ac.ir

3. Ph.D. Student, IIEES, Tehran, Member of Iranian Earthquake Engineering Association Iran

Considering the fact that the computational cost of Nonlinear Time History Analysis (NLTHA) has been reduced significantly, specially, during last decade, this type of analysis has been promoted among civil engineering society. On the other hand, basic shift from conventional design approach to the performance-based method highlights the essential need for the estimation of different engineering demand parameters (EDPs) with as highest reliability as possible. Focusing on the selected set of strong ground motions (SGMs) as an important source of uncertainty on the results, there are a variety of studies in the earthquake engineering literature the purpose of which is to introduce a standard scheme for efficient selection and preparation of appropriate SGMs as the input of NLTHA. A part of existing differences, most of the methods suffer from a common limitation that is the application of simplifying assumptions in their contextual framework that may not always be correct. For example, there are several structure-specific scaling and selection methods using an equal SDOF as the representative of the target structure that must be analyzed. Although the use of such simplifications is unavoidable, their effect on the reliability of the results estimated by performing NLTHA under proposed set of SGMs by the method must be evaluated.

In this paper, a recently proposed structure specific record selection method is investigated in terms of its ability to keep the efficiency in case of structures that may challenge the assumption of reducing a MDOF nonlinear system to an equal SDOF. The investigated method have proposed an a priori set of SGMRs selected from a commonly used general set, which is introduced for collapse assessment. The method first utilizes the statistical exploration of a collapse capacity database that is constructed by analyzing numerous SDOF systems each of which represents specific combination of structural features such as ductility and period. Then, by defining a quantitative similarity measure, the whole database is refined to find the optimum subset representing the general set fairly good for any predetermined structural characteristics.

For a comprehensive study, a group of 2-D one-bay vertically regular frames of five different heights (i.e. 3, 6, 9, 12, and 15 stories) has been used in this study. The height-wise distribution of stiffness was tuned to achieve equal drifts in all stories that are calculated using the Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings forces (Standard 2800). The yield strength distribution was chosen such that the yielding is observed almost simultaneously at all plastic hinges under the lateral force distribution, which is determined by Standard 2800. To cover a variety of ductility values, nonlinear response spectra with constant ductility equal to 1, 2, 4, and 6 have been utilized as the design spectra. Thus, eight different designs (two values of  $T_1$  and four values of  $\mu$ ) are considered for each fixed height, leading to a total of 40 frames. A set of 22 pairs of horizontal SGMRs selected from a specific far-field set, which was used in the FEMA P. 695 as the suggested SGMs for NLTHA.

The most important results that can be concluded from the comprehensive evaluation of the mentioned selection

method can be listed as;

- The proposed selected subsets, in most cases underestimate seismic demands of regular frames compared to the estimations by using the reference set of 44 SGMs. This can be attributed to the fact that many of steel frames do not experience severe levels of nonlinearity or side-sway collapse.
- The application of the proposed subsets by the selection method does not necessarily result in the reduction of the statistical dispersion in the estimated EDPs.
- Comparing the estimated EDPs by the proposed subset with those of other potential subsets, almost in all cases there is no significant superiority of the selection method in terms of accuracy and reliability. This can be interpreted by noting to the fact that the goal of selection method is the reliable collapse simulation of the structures and it cannot easily be generalized to the other performance levels.

The results confirm that the ductility plays an important role in the SGMs selection output. Therefore, it is suggested that the provision of a new selection process involving ductility of target structure is investigated as a future complementation of the current method.

**Keywords:** Nonlinear Time History Analysis, Record Selection and Scaling, Structure Group, IDA.