

## محاسبه ضریب رفتار سیستم‌های چنددرجه آزادی در برابر زلزله نزدیک گسل با اثرات جهت‌پذیری پیش‌رونده: پیشنهاد ضریب اصلاح

نوید سیاه‌پلو

دانشجوی دکتری مهندسی زلزله، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.  
n\_siahpolo@yahoo.com

محسن گرامی

دانشیار گروه مهندسی زلزله، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.  
mgerami@semnan.ac.ir

رضا وهدانی

استادیار گروه مهندسی زلزله، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.  
reza.vahdani2001@gmail.com

کلید واژه‌ها: جهت‌پذیری پیش‌رونده، ضریب رفتار، سیستم‌های چند درجه آزادی

### چکیده

کاهش تراز نیروی نیاز غیر ارتجاعی وارد بر سازه در اثر رفتار فرالارتجاعی در مطالعات پیشین تایید شده است. این کاهش در کدهای لرزه‌ای بکمک ضریب کاهش مقاومت (ضریب رفتار) پیشنهاد شده است. در اکثر تحقیقات اخیر ضریب رفتار غالباً بکمک روش یوانگ محاسبه می‌گردد. در این روش ضریب رفتار قاب چنددرجه آزاد (MDOF) بکمک ضریب کاهش مقاومت شکل‌پذیری سازه تکدرجه آزاد (SDOF) که توسط ضریب اضافه مقاومت اصلاح شده است، محاسبه می‌گردد. مطالعات مختلف نشان می‌دهد ضریب مذکور بزرگتر از ضریب رفتار سازه اصلی است که دلیل آن عدم ملحوظ نمودن اثرات درجات آزادی (اثرات MDOF) است. در این بین اثر محتوای زلزله می‌تواند موثر باشد بنحویکه برای زلزله‌های نزدیک گسل با افر جهت‌پذیری پیش‌رونده تا بحال مطالعه‌ای انجام نشده است. در این تحقیق تلاش شده است تا ضریب اصلاحی پیشنهاد گردد تا بکمک آن بتوان اثرات MDOF را در تخمین نیاز برش پایه متناظر با سطوح مختلف شکل‌پذیری بدرستی محاسبه نمود. بدین جهت تعداد قابل توجهی قاب (۱ تا ۳۰ طبقه) با تعداد دهانه‌های مختلف (۱ تا ۵ دهانه) با استفاده از نرم افزار اپنسیس در دو حالت ارتجاعی و غیر ارتجاعی تحلیل شده و نسبت نیروی برش پایه سازه MDOF به مقدار متناظر آن حاصل از تحلیل سیستم SDOF معادل با عنوان اصلاح ضریب رفتار تعریف گردید. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در هر دو حالت ارتجاعی و غیر ارتجاعی، ضریب اصلاح پیشنهادی بزرگتر از یک است. با افزایش دوره تناوب و شکل‌پذیری بین طبقه‌ای، این ضریب افزایش می‌یابد. در حالت ارتجاعی ضریب اصلاح پیشنهادی متأثر از تعداد دهانه نیست اما در مدل غیر ارتجاعی، با افزایش تعداد دهانه، این ضریب گاهی می‌یابد. نرخ تغییرات آن در رفتار غیر ارتجاعی (بجز قاب تک دهانه) بین ۱ تا ۳/۵ است. بعبارتی استفاده از ضریب رفتار بدست آمده از سازه SDOF معادل در طراحی سازه MDOF غیر محافظه کارانه است.

### مقدمه

در اکثر کدهای لرزه‌ای، نیروی برش پایه طراحی کمتر از نیروی برش پایه الاستیک در نظر گرفته می‌شود تا در اثر زلزله‌های قوی تضمین شود که پاسخ تغییر شکل سازه فراتر از حد ارتجاعی گردد. بدین جهت، کدهای لرزه‌ای اجازه می‌دهند که نیروی برش پایه بدلیل ورود به ناحیه غیر ارتجاعی توسط یک ضریب کاهش که در این مقاله با ضریب رفتار معرفی می‌گردد، کاهش داده شده و در روند طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله استفاده گردد. بنابراین برش پایه حد ارتجاعی بر ضریب کاهش مقاومت تقسیم شده و نیروی برش غیر ارتجاعی محاسبه می‌گردد. در سازه‌های تکدرجه آزاد (sdoF) در اثر رفتار غیرخطی با  $R_H$  معرفی می‌گردد. این ضریب مقاومت جانبی سازه SDOF را بشکلی محدود می‌کند که نیاز شکل‌پذیری به یک مقدار شکل‌پذیری هدف معین محدود گردد. مقاومت سازه در این حالت نماینده مقاومت طرح است. این ضریب در بسیاری از



مطالعات پیشین برای سازه SDOF ارزیابی شده است. روشهای موجود در محاسبه ضریب رفتار سازه چنددرجه آزادی (MDOF) بنحوی پایه ریزی شده اند که از نتایج  $R_{ii}$  استفاده می کنند. این در حالی است که اثرات مدلسازی سازه بصورت MDOF که از این پس به اثرات MDOF نامگذاری می گردد، می تواند بر ضریب رفتار مدل MDOF تاثیرگذار باشد. بعبارتی، محاسبه ضریب رفتار سیستم MDOF به کمک  $R_{ii}$  نیازمند اصلاحاتی است که موضوع اصلی این مقاله می باشد. ضریب اصلاحی که بر  $R$  اثر میکند بنحوی است که مقاومت برش تسلیم سیستم SDOF را بشکلی اصلاح می کند که مقاومت تسلیم سازه MDOF بگونه ای انتخاب گردد تا حداکثر نیاز شکل پذیری بین طبقه ای آن از شکل پذیری مجاز سیستم MDOF بیشتر نگردد. ضروری است که در این حالت می بایست هر دو سیستم SDOF و MDOF دوره تناوب یکسان داشته باشند.

ضریب  $R$  تنها بعنوان یک شاخص مقاومت پایه طراحی لرزه ای محسوب نمی گردد بلکه ضریبی است کلیدی که در تخمین طیف پاسخ غیر خطی برای استفاده در مقاصد طراحی عملکردی کاربرد دارد. طیف پاسخ غیر ارتجاعی یا ( $S_{ii}$ ) را میتوان با کاهش طیف پاسخ ارتجاعی ( $S_{ei}$ ) توسط ضریب  $R$  بدست آورد. در یک تعریف کلی،  $R$  را می توان حاصلضرب ضریب کاهش شکل پذیری  $R_{ii}$ ، ضریب کاهش میرایی،  $R$ ، و ضریب مقاومت افزون سازه،  $R_s$ ، در نظر گرفت. بنابراین  $R_{ii}$  یک فاکتور اساسی در تخمین بارهای لرزه ای که بنوعی اثر رفتار غیر ارتجاعی را در بر می گیرد. ظرفیت سازه را می توان بکمک نتایج آزمایشگاهی بدست آورد و بکمک ضریب  $R$  می توان سطح شدت زلزله را تعریف نمود.

$$R = R_{ii} R_s \quad (1)$$

## مروری بر ادبیات فنی

رابطه بین پاسخ سیستم SDOF و MDOF برای نخستین بار توسط Veletsos and Van (1971) بررسی گردید. هدف ایشان تعیین پارامترهایی است که بر پاسخ سیستم های الاستوپلاستیک MDOF تاثیر بسزایی داشته باشند. همچنین ایشان تلاش داشتند تا ویژگی های اساسی پاسخ چنین سیستم سازه ای را بر اساس پاسخ سیستم خطی نظیر ارزیابی و نظامند نمایند. سازه های انتخابی ایشان بشکل طره با رفتار برشی بوده که  $n$  جرم معادل بکمک فنرهای بدون جرم سری از یک تا  $n$  درجه آزادی مدلسازی شده اند. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که مقاومت تسلیم مورد نیاز برای محدود کردن تغییر شکل بیشینه طبقه سیستم MDOF غیر ارتجاعی به ضریب شکل پذیری هدف را می توان با تقریب قابل قبولی از نتایج تحلیل خطی بدست آورد. سیستم های خطی متناظر را می توان با سازه SDOF دارای فرکانس مشابه با سازه اصلی محاسبه نمود. بعلاوه نتایج مطالعه ایشان نشان داد که با افزایش تعداد درجات آزادی (بیشتر از ۳)، استفاده از سیستم SDOF معادل نمی تواند به نتایج معقولی بیانجامد. عبارتی مقاومت تسلیم مورد نیاز سیستم SDOF کمتر از مقدار متناظر آن برای سازه MDOF است. با افزایش تعداد درجات آزادی، این اختلاف افزایش می یابد.

Nassar and Krawinkler (1991) سه نوع مدل MDOF ساده شده را برای تخمین اصلاحات مورد نیاز بر نیازهای مقاومت تسلیم غیر ارتجاعی که از تحلیل سیستم ها SDOF دو خطی بدست آمدند، انتخاب نمودند. در این سه مدل نیاز شکل پذیری طبقه اول سیستم MDOF به مقداری از پیش تعریف شده محدود گردید. سه نوع مدل ایشان بصورت قاب دو بعدی منظم با طیف گسترده ای از پروده های مودال ارتجاعی است. مدل اول بگونه ای تعریف شد تا پتانسیل تشکیل مفصل پلاستیک تنها در تیرها محدود گردد. به این مدل عنوان "تیر-مفصل" اختصاص داده شد. مدل دوم بگونه ای است که تنها امکان تشکیل مفصل پلاستیک در ستون بوده ("مدل ستون-مفصل") و مدل سوم بنحوی انتخاب گردید تا مفصل پلاستیک در ستون های طبقه همکف ایجاد گردد ("مدل طبقه ضعیف"). پرپود هریک از مدلها بکمک رابطه  $T=0.02H^{0.75}$  انتخاب گردید جاییکه  $H$  ارتفاع کل ساختمان بر حسب فوت است. ظرفیت برش پایه مدل MDOF بشکلی اصلاح شد تا نیاز مقاومت غیر ارتجاعی با نیاز مقاومت غیر ارتجاعی سیستم SDOF نظیر آن یکی گردد. مطالعات ایشان نشان داد که شکل پذیری طبقه ای سازه MDOF با مقادیر متناظر آن در سیستم SDOF تفاوت دارد. از طرفی مقاومت نیاز برای تعیین شکل پذیری هدف مشخص به مکانیزم شکست قاب بستگی دارد. بعلاوه اختلاف نیازهای شکل پذیری طبقه قاب MDOF نسبت به ضرایب شکل پذیری هدف مدل های SDOF با افزایش دوره تناوب و نسبت شکل پذیری هدف افزایش می یابند.

Rahgozar and Humar (1996) با مطالعه قاب برشی ۱۰ طبقه با ارتفاع و توزیع جرم یکنواخت نشان دادند که در مقادیر شکل پذیری هدف بزرگ، نیاز شکل پذیری تغییر مکانی در بسیاری از طبقات مدل MDOF بیشتر از مقادیر SDOF است. در بسیاری از موارد طبقه بحرانی در قسمتهای پایین سازه قرار دارند. اگرچه در طبقات فوقانی بدلیل مشارکت مودهای بالاتر می توانند نیازهای شکل پذیری بزرگتری را تحمل نمایند (Chopra (1995). نسبت نیاز برش پایه لرزه ای ساختمان ۲۰ طبقه تک دهانه را به مقدار متناظر در سیستم SDOF مطالعه نمود. پرپود هر دو مدل ۳ ثانیه در نظر گرفته شده است. مقاومت تسلیم برش پایه سازه MDOF بکمک نیروی برشی توزیع یافته در ارتفاع منطبق بر الگوی بار آیین نامه UBC94 محاسبه گردید بنحویکه نیاز شکل پذیری طبقه اول از مقدار مجاز آن بیشتر نشود. مطالعه ایشان نشان داد که نسبت برش پایه تسلیم MDOF به SDOF نظیر بین ۱ تا ۴ در تغییر است. در این بین تاثیر پرپود ارتعاشی و شکل پذیری مجاز بشدت بر نتایج قابل توجه می باشد. (Seneviratna and Krawinkler (1997) نیازهای لرزه ای مدل MDOF را کمینه نموده و اصلاحاتی را برای نتایج SDOF پیشنهاد نمودند، بنحویکه بتوان نیازهای لرزه ای قاب MDOF را بکمک طیف پاسخ ارتجاعی و غیر ارتجاعی محاسبه نمود. ایشان در مطالعه خود دو نوع

سیستم مقاوم جانبی را در نظر گرفتند. مطالعه ایشان نشان داد که بجز در سازه های با دوره تناوب کم، حداکثر نیاز شکل پذیری مدل MDOF از مقادیر شکل پذیری هدف سیستم SDOF معادل بیشتر بوده و با افزایش دوره تناوب، ضرایب اصلاحی پیشنهادی افزایش می یابد. این موضوع نشان داد که اثرات MDOF بشدت وابسته به ارتفاع سازه، دوره تناوب، شکل پذیری هدف و تراز مقاومت تسلیم است. Santa-Ana and Miranda (2000) ضریب کاهش مقاومت را برای ۸ قاب خمشی فولادی که در معرض سطوح مختلف تغییر شکل های غیر ارتجاعی قرار گرفته اند در برابر ۲۸ رکورد زلزله محاسبه نمودند. اثر پارامترهای مختلفی همچون دوره تناوب، اندازه تغییر شکل غیر الاستیک ساختمان، تعداد طبقات و شرایط خاک منطقه مطالعه گردید. هدف اصلی این مطالعه ایجاد ارتباط بین حداکثر مقاومت تسلیم سیستم MDOF برای تامین شکل پذیری بین طبقه ای از پیش تعریف شده با مقاومت تسلیم سیستم SDOF نظیر بنحویکه شکل پذیری هدف SDOF با مقدار متناظر مدل MDOF یکی گردد. مطالعات ایشان نشان داد که ضریب کاهش مقاومت مدل MDOF غالباً از مقدار متناظر آن (سیستم SDOF نظیر) کمتر است، بنابراین ضروری است که مقاومت جانبی سازه MDOF بیشتر از مقدار حاصل از سیستم SDOF انتخاب گردد. از طرفی نسبت ضریب کاهش مقاومت MDOF به SDOF متاثر از دوره تناوب و درجه تغییر شکل غیر ارتجاعی است. بعلاوه تغییر در شرایط خاک تاثیر قابل توجهی بر این ضریب خواهد داشت. Santa-Ana (2004) در یک مطالعه دیگر با انتخاب ۹۲ زلزله منطبق بر خاکهای نوع C, B, و D آیین نامه NEHRP97 و خاک نرم، اثر مودهای بالاتر را بر نسبت مقاومت نیاز MDOF به مقاومت نیاز SDOF نظیر برای سطوح مختلف شکل پذیری در ۱۰ قاب خمشی فولادی ارزیابی نمود. ایشان در مطالعه خود تاثیر ۴ پارامتر اساسی را مدنظر قرار دادند؛ (۱) تاثیر مودهای مختلف بر توزیع نیاز شکل پذیری در ارتفاع، (۲) دور تناوب ارتعاشی، (۳) شرایط خاک و (۴) درجه غیرخطی شدن سازه. مطالعه ایشان نشان داد که شدت غیر ارتجاعی شدن سازه بیشترین تاثیر را بر نسبت مذکور داراست. کمترین تاثیر مربوط به جنس خاک است. برای مدل های با دوره تناوب الاستیک بزرگ، دو مود اول ارتعاشی بیشترین تاثیر را بر ضریب اصلاح خواهند داشت. این اثر با افزایش درجه غیرخطی شدن سازه کاهش می یابد. برش پایه جذب شده توسط سیستم MDOF بمراتب بیشتر از سیستم SDOF (دارای پریود اصلی معادل و برابر با سیستم MDOF) برآورد گردید اما برای سیستم الاستیک این اثر برعکس نتیجه شد. در نهایت ایشان دو رابطه ساده را برای محاسبه ضریب اصلاح پیشنهاد نمودند.

Wang et al. (2013) تاثیر مودهای بالاتر را بر ضریب کاهش شکل پذیری سیستم های چنددرجه آزادی بررسی نمودند. بدین منظور ضریب شکل پذیری سیستم SDOF معادل اصلاح گردید. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که تاثیر مودهای بالاتر در اثر افزایش نیاز شکل پذیری بر ضریب کاهش شکل پذیری ( $R_{II}$ ) قابل ملاحظه می باشد. با تحلیل رگرسیون غیرخطی چندگانه، برای ضریب اصلاح اثرات MDOF بر ضریب رفتار رابطه تجربی را ارایه نمودند. این رابطه بکمک نتایج مدل های MDOF برشی با جرم متمرکز و تعداد قابل توجهی تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی محاسبه گردید. مطالعه ایشان نشان داد که بدلیل تاثیر مودهای بالاتر، ضریب کاهش شکل پذیری سیستم MDOF بمراتب کمتر از سیستم های SDOF نظیر است. ضریب مذکور بشدت متاثر از پریود ارتعاش اصلی و شکل پذیری تغییر مکانی است.

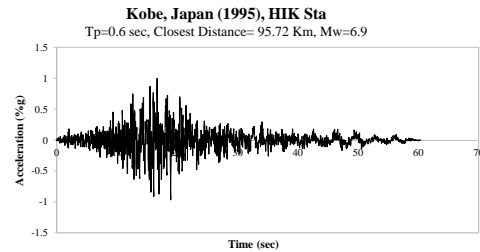
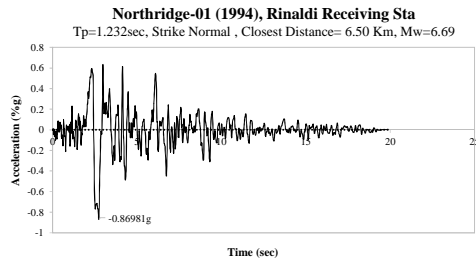
## معرفی مدلها و سناریوی زلزله های مورد استفاده

در قابهای مورد مطالعه، ارتفاع کلیه طبقات ثابت و برابر ۴ متر و طول دهانه ها برابر ۵ متر در نظر گرفته شده است. برای قاب های خمشی فولادی دو بعدی مورد استفاده در این مطالعه شکل پذیری از نوع ویژه انتخاب گردید. بمنظور سهولت در معرفی قابها، هر قاب با نام FRNiBz معرفی گردیده است که نماینده، قاب i طبقه و j دهانه می باشد. تعداد دهانه، B برای کلیه قابها بترتیب ۱، ۲، ۳ و ۵ در نظر گرفته شده است. مقادیر i نیز عبارتست از ۱، ۲، ۴، ۷، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰. قابها مطابق مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان ایران بارگذاری ثقیلی و لرزه ای شده اند. در بارگذاری ثقیلی، بار مرده طبقات، بار معادل تیغه بندی و بار متوسط زنده طبقات بترتیب مقادیر ۵۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمربع و عرض بارگیر قاب در هر طبقه ۵ متر در نظر گرفته شد. در بارگذاری لرزه ای جرم طبقات برابر با مجموع بار مرده و ۲۰ درصد بار زنده منظور گردید. خاک محل احداث، نوع III، منطقه با خطر پذیری بسیار زیاد و نوع کاربری مسکونی با درجه اهمیت متوسط در نظر گرفته شده است. کلیه قاب های مذکور با استفاده از نرم افزار Etabs2013 تحلیل استاتیکی معادل (در برخی مدل ها تحلیل شبه دینامیکی و همسان سازی برش پایه طراحی) و به روش ضرایب بار و مقاومت (AISC360-05-LRFD)، طراحی شده اند. برای تیرها از مقطع تیر ورق و برای ستون ها از مقطع جعبه ای استفاده گردید. کلیه مقاطع فشرده لرزه ای در نظر گرفته شد. برای مود اول و کلیه مودهایی که ضریب مشارکت جرمی مجموعی آنها بیشتر از ۹۵٪ است، میرایی رابلی معادل ۵٪ تعریف گردید. رفتار چرخه ای تنش  $\Delta$  کرنش فولاد به صورتی دو خطی با سخت شدگی کرنش ۳٪ مدلسازی گردید. جهت تعیین پاسخ دینامیکی غیرارتجاعی سازه ها از زمین لرزه های نزدیک گسل دارای اثر جهت پذیری پیشرونده و مولفه عمود بر گسل استفاده شد. مشخصات این زمین لرزه ها در جدول (۱) ارایه شده است. در این پژوهش برای انجام تحلیل های استاتیکی و تاریخچه زمانی غیر خطی، از نرم افزار Opensees استفاده شده است.



جدول ۱: مشخصات زلزله‌های نزدیک گسل (NF)

Earthquake Component	Record number	NGA Record Sequence Number	Earthquake Name	Year	Station Name	PGV(cm/sec)	Magnitude	Closest Distance	Pulse Period	Preferred Vs30 (m/s)
NF-SN	1	763	Loma Prieta	1989	Gilroy - Gavilan Coll.	14.96	6.93	9.96	1.799	729.7
	2	1044	Northridge-01	1994	Newhall - Fire Sta	120.26	6.69	5.92	1.036	269.1
	3	1045	Northridge-01	1994	Newhall - W Pico Canyon Rd.	82.88	6.69	5.48	2.408	285.9
	4	1063	Northridge-01	1994	Rinaldi Receiving Sta	167.2	6.69	6.5	1.232	282.3
	5	1085	Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta East	113.57	6.69	5.19	3.528	370.5
	6	1106	Kobe, Japan	1995	KJMA	89.1	6.9	0.96	0.952	312
	7	1119	Kobe, Japan	1995	Takarazuka	72.64	6.9	0.27	1.428	312



شکل ۱: تاریخچه زمانی رکورد زلزله نزدیک گسل مولفه SN زلزله نورتریج (شکل چپ) و کوبه (شکل راست)

### پیشنهاد ضریب اصلاح $v_{mdof}$ و روش انجام تحقیق

مطالعات قبلی که توسط محققین مختلف [۵ و ۷ و ۱۷] انجام گرفته‌اند، نشانگر آنستکه در صورت طراحی سازه‌های MDOF (با مقاومتی برابر با مقاومت مورد نیاز برای حفظ شکل‌پذیری سیستم SDOF در محدوده مجاز) حداکثر نیاز شکل‌پذیری تغییر مکانی طبقه‌ای در سازه MDOF به میزان قابل توجهی، بیش از شکل‌پذیری هدف، پیش‌بینی می‌گردد. عبارت دیگر ضریب  $R_-$  محاسبه شده برای سیستم SDOF بایستی بمنظور کنترل حداکثر نیاز شکل‌پذیری تغییر مکانی طبقه‌ای در طراحی سازه MDOF مورد اصلاح قرار گیرد. بنابراین بدلیل مشارکت موده‌های بالاتر نمی‌توان منحصرأ از ضرایب  $R_-$  و  $R_s$  بعنوان ضرایب کاهش مقاومت سازه MDOF استفاده نمود. بهمین منظور برای احتساب موده‌های بالاتر و منظور نمودن اثرات MDOF از ضریب اصلاح استفاده می‌نماییم. در این ارتباط، ضریب  $\Gamma_{V_{mdof}}$  را بوسیله رابطه (۲) معرفی می‌نماییم:

$$\Gamma_{V_{mdof}} = \frac{V_{MDOF}^-}{V_{SDOF}^-} \quad (2)$$

در رابطه فوق  $\Gamma_{V_{mdof}}$  ضریب اصلاح برش پایه برای احتساب اثرات MDOF و  $V_{MDOF}^-$  و  $V_{SDOF}^-$  به ترتیب حداقل مقاومت (برش پایه) لازم برای حفظ شکل‌پذیری سازه MDOF و سیستم SDOF در محدوده مقدار هدف  $\mu_i$  می‌باشند. در حقیقت  $\Gamma_{V_{mdof}}$  ضریب اصلاحی است که بایستی در مقاومت جانبی سیستم SDOF ضرب شود تا حداکثر نیاز شکل‌پذیری تغییر مکانی طبقه‌ای در سازه MDOF معادلش، در حد مجاز شکل‌پذیری هدف مشخص نگهداشته شود. بدین ترتیب رابطه‌ای را که توسط Uang برای محاسبه ضریب رفتار سازه ارائه شده است، بصورت زیر برای احتساب اثر موده‌های بالاتر و اثرات MDOF مورد اصلاح قرار می‌دهیم. این رابطه برای سیستم SDOF عبارتست از:

$$R_{SDOF} = R_-^{SDOF} \cdot R_s \cdot Y = \frac{V_{SDOF}^e}{V_{SDOF}^-} \cdot R_s \quad (3)$$

برای سازه‌های MDOF عبارتست از:

$$R_{MDOF} = R_-^{MDOF} \cdot R_s \cdot Y = \frac{V_{MDOF}^e}{V_{MDOF}^-} \cdot R_s \quad (4)$$

از جایگزینی روابط (۲) و (۳) در رابطه (۴) داریم:

$$R_{-}^{MDOF} = \frac{1}{r_{MDOF}^V} R_{-}^{SDOF} \quad (5)$$

و از ترکیب روابط (۳) و (۵) داریم:

$$R_{MDOF} = \frac{1}{r_{MDOF}^V} R_{-}^{SDOF} . R_s \quad (6)$$

در روابط فوق ضرایب  $R_{-}^{SDOF}$ ، ضریب کاهش شکل پذیری برای سیستم SDOF است که بکمک نتایج طیف غیرالاستیک متناظر با سطح شکل پذیری ثابت محاسبه شده است.  $R_{MDOF}$  ضریب رفتار سازه MDOF می باشد که در آن اثرات MDOF از طریق اعمال ضریب  $\Gamma_{Vmdof}$  منظور شده است.

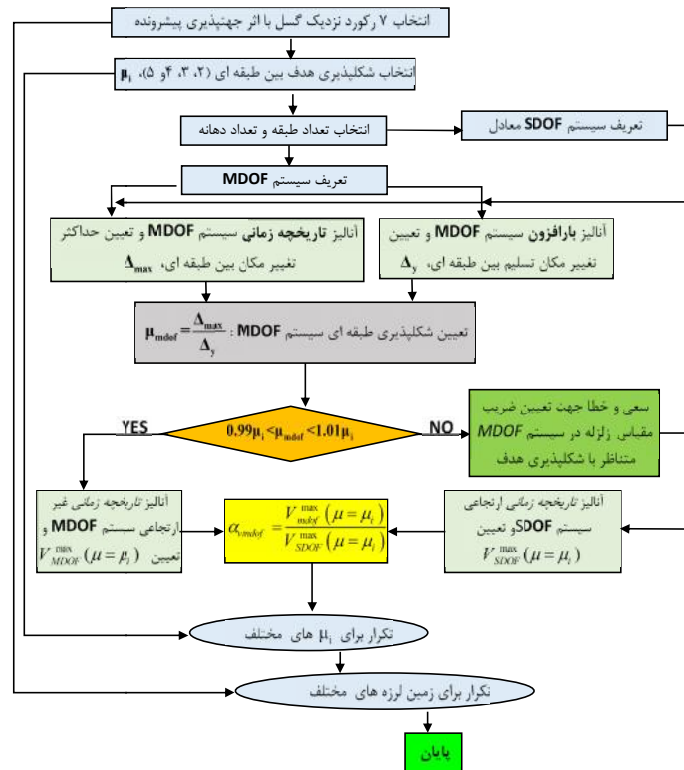
هدف اصلی انجام این تحقیق، افزایش آگاهی از پاسخ دینامیکی غیر ارتجاعی سازه های MDOF و ارائه روشی برای اندازه گیری نیازهای لرزه ای این سیستمها، با استفاده از نیازهای مقاومتی سیستمهای SDOF می باشد. در این رابطه اصلاحات لازم برای ارزیابی ضریب کاهش مقاومت سازه های MDOF مورد بررسی و اندازه گیری قرار می گیرند. بهمین منظور ضرایب رفتار سازه های MDOF را با معرفی ضرایب اصلاحی به روش Uang (برای احتساب اثر مدهای بالاتر) بررسی نموده، سپس به محاسبه ضرایب رفتار اصلاح شده قله های MDOF می پردازیم. برای هر یک از سازه های MDOF مورد مطالعه، یک سیستم SDOF معادل، تعریف شده است. در این تعریف، جرم سیستم SDOF معادل، برابر با مجموع کل جرمهای طبقات سازه MDOF در نظر گرفته شده و سختی جانبی آن بگونه ایست که پیوند ارتعاشی سیستم SDOF معادل، برابر با پیوند مود اول ارتعاشی سازه MDOF باشد. وجود تفاوت در پاسخ سازه MDOF غیر ارتجاعی با سیستم SDOF معادلش را اثرات MDOF نامیده و علت اصلی این تفاوت را دخالت مدهای بالاتر ارتعاشی معرفی می نماییم. البته مواردی مانند شکل سراسری تغییر شکل، نحوه توزیع مقاومت و سختی در ارتفاع سازه MDOF، نامعینی سیستم و نحوه مکانیزم شکست موضعی و سراسری و بالاخره اثرات پیچشی سازه سه بعدی از سایر عوامل اختلاف بین پاسخهای MDOF و سیستم SDOF معادل می باشند. ضرایب اصلاح معرفی شده از این مطالعه، متشکل از نسبتهایی است که صورت و مخرج آن وابستگی یکسانی به شدت و دوام زلزله دارند. این امر استفاده از آنالیز آماری نتایج پاسخهای دینامیکی حاصل از زلزله های مختلف را امکان پذیر می سازد. پس از معرفی ضرایب اصلاح مقاومت جانبی سیستم SDOF معادل، بمنظور تعیین مقاومت جانبی مورد نیاز سازه MDOF (با کنترل حداکثر شکل پذیری نیاز بین طبقه ای) و با اعمال ضریب اصلاح مذکور بر روی مقاومت جانبی سیستم SDOF، مقاومت جانبی لازم سازه MDOF تخمین زده می شود. در این رابطه اثرات MDOF در محاسبه برش پایه سازه های مختلف، مورد بررسی قرار می گیرد. در شکل (۱)، فرآیند کلی تحقیق معرفی شده است.

## بحث و بررسی

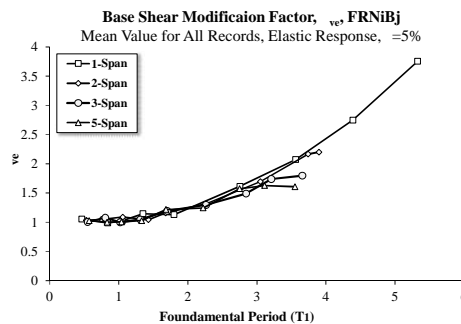
همانگونه که در بخش مقدمه تعریف گردید، مطالعات پیشین موید تفاوت ضریب رفتار بدست آمده از سیستم SDOF معادل نسبت به ضریب رفتار قاب MDOF است. این اختلاف در مقاله حاضر با ضریب اصلاح  $\Gamma_{Vmdof}$  معرفی شده است. در حقیقت این ضریب نسبت مقاومت برش پایه قاب MDOF به مقدار متناظر با آن در سازه SDOF است. برای آشنایی با این نسبت، در این بخش از مقاله ابتدا ضریب مذکور برای حالت ارتجاعی محاسبه شده است و نتایج برای قابهای مختلف در شکل (۳) نمایش داده شده است. منظور از حالت ارتجاعی شرایطی است که بیشینه شکل پذیری بین طبقه ای در طبقه ای بحرانی برابر با کمتر از یک باشد ( $1.0 \leq \sim_i$ ). بررسی شکل (۳) نشان می دهد که در محدوده پروندهای کم، اثرات MDOF چندان قابل توجه نمی باشد بجز  $\Gamma_{Vmdof}$  برابر یک می باشد. عبارتی در سازه های با دوره تناوب کوتاه میتوان نیروی برش پایه را بکمک تحلیل ارتجاعی سازه SDOF محاسبه نمود. با افزایش دوره تناوب این نسبت افزایش یافته و متاثر تعداد دهانه نیست. بجز قاب تک دهانه، این نسبت برای دوره تناوب بزرگتر از ۲ ثانیه بین ۱ تا ۲ در تغییر است. لازم بذکر است که در شکل (۳) میانگین نتایج تحلیل ارتجاعی نمایش داده شده است.

در ادامه برای قابهای مورد مطالعه و زلزله های مختلف در سطوح شکل پذیری هدف ۲، ۳، ۴ و ۵ تغییرات ضریب اصلاح برش پایه برحسب پیوند در شکل (۴) برای تعداد دهانه های مختلف ارائه شده است. چنانچه از اشکال مذکور ملاحظه می گردد، ضریب  $\Gamma_{Vmdof}$  با افزایش سطح شکل پذیری ( $\sim_i$ ) عمدتاً افزایش یافته، همچنین همواره با ازدیاد پیوند، افزایش می یابند. فاصله گرفتن این ضریب از مقدار ۱/۰ بر اهمیت بیشتر مدهای بالاتر و افزایش اختلاف در پاسخهای سازه MDOF با سیستم SDOF معادل، دلالت دارد. مفاهیم طراحی نتایج ارائه شده در شکل (۴) را می توان با یک مثال، نشان داد. اگر یک قاب SMRF ۵ دهانه با پیوند اولیه ۳/۶ ثانیه بتواند شکل پذیری طبقه ای ۵ را تحمل کند، مقاومت برش پایه آن باید با ضریب ۳/۵۰ نسبت به نیاز مقاومت غیر ارتجاعی سیستم SDOF معادل (با پیوند یکسان) اصلاح شود. چنانچه ملاحظه می گردد، روند تغییرات ضریب اصلاح مذکور (به استثناء پیوندهای طولانی و ضرایب شکل پذیری هدف نسبتاً کوچک، تحت مجموعه رکوردهای مطالعه شده) تقریباً مشابه می باشند. همچنین با افزایش تعداد دهانه،  $\Gamma_{Vmdof}$  کاهش می یابد. بعلاوه بیشترین ضریب  $\Gamma_{Vmdof}$  مربوط به قاب تک دهانه است.

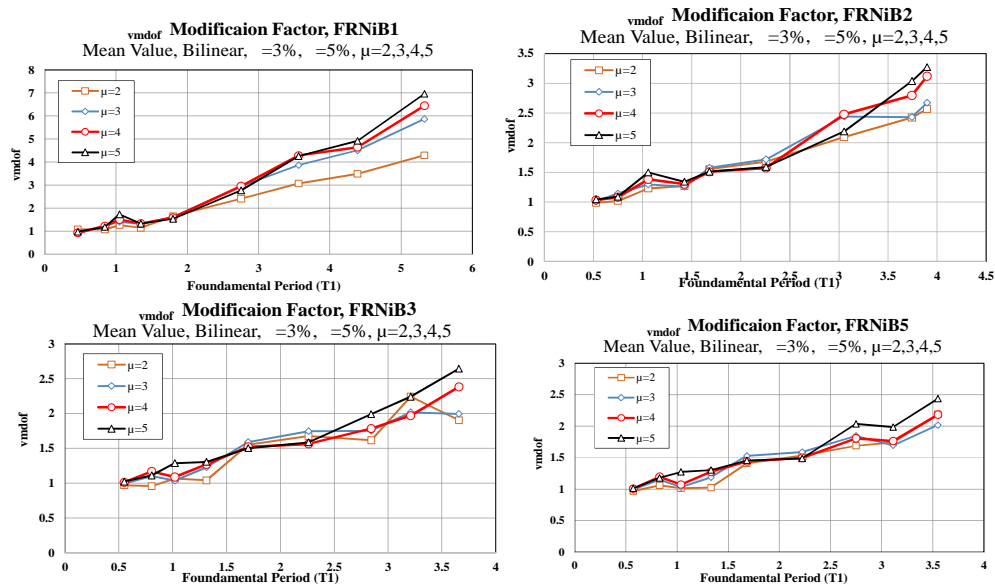




شکل ۲: تاریخچه زمانی رکورد زلزله نزدیک گسل مولفه SN زلزله نورتریج (شکل چپ) و کوبه (شکل راست)



شکل ۳: تغییرات ضریب اصلاح  $\Gamma_{vmdof}$  در برابر پیوند برای تعداد دهانه های مختلف بکمک نتایج تحلیل ارتجاعی



شکل ۴: تغییرات ضریب اصلاح  $\Gamma_{vmdof}$  در برابر پیوند برای تعداد دهانه های مختلف و شکل پذیری بین طبقه ای ۲ تا ۵



## نتیجه گیری

- در بیشتر آیین‌نامه‌های قدیمی (قبل از سال 1990) ضریب رفتار بصورت عددی ثابت (تابع نوع سازه) ارائه شده بود. این ضرایب از مشاهدات آزمایشگاهی و مطالعه رفتار سازه‌ها در زلزله‌های گذشته و اعمال قضاوت مهندسی تدوین کنندگان آیین‌نامه‌ها، حاصل شده و شامل "شکل‌پذیری سازه" و "مقاومت افزون" بوده است، ولی سهم هریک، در ضریب رفتار به تفکیک مشخص نیست. با استفاده از مقادیر ثابت  $R$  نمی‌توان از یک حاشیه ایمنی ثابت در برابر خرابی برای سازه‌های مختلف (با درجات نامعینی گوناگون) مطمئن بود. در مشابه‌سازی سیستمهای MDOF به SDOF معادل، تنها از زمان تناوب اصلی (مود اول) قابهای MDOF استفاده می‌شود، لذا بمنظور بررسی میزان تأثیر مودهای بالاتر و اثرات MDOF، ضریب اصلاح برش پایه  $\Gamma_{vmdof}$  و ضریب اصلاح ضریب رفتار  $1/\Gamma_{vmdof}$  معرفی گردید. نتایج حاصل از این مطالعه به شرح زیر می‌باشد:
- برای سازه با رفتار ارتجاعی، در پیوندهای کوتاه، ضریب ضریب اصلاح برش پایه بعلت اثرات  $(\Gamma_{vmdof})$  MDOF تقریباً برابر یک محاسبه گردید. در واقع اثرات MDOF در این سازه‌ها ناچیز است. با افزایش پیوند، این ضریب بزرگتر از یک بدست آمده اما متاثر از تعداد دهانه نیست.
  - ضریب اصلاح برش پایه بعلت اثرات  $(\Gamma_{vmdof})$  MDOF همواره با افزایش پیوند، افزایش می‌یابد که بیانگر اهمیت اثرات MDOF در سازه‌های بلند مرتبه می‌باشد. این ضرایب با افزایش سطح شکل‌پذیری هدف نیز معمولاً افزایشی است.
  - ضرایب کاهش مقاومت قابهای MDOF را می‌توان از حاصلضرب  $R_-$  در ضریب اصلاح  $(1/\Gamma_{vmdof})$  جهت احتساب تأثیر مودهای بالاتر و منظور نمودن اثرات MDOF، محاسبه نمود.
  - ضرایب اصلاح ضریب کاهش مقاومت (به استثناء پیوندهای طولانی و ضرایب شکل‌پذیری هدف نسبتاً کوچک) تحت مجموعه رکوردهای مورد مطالعه، تقریباً مشابه می‌باشند.
  - دخالت مودهای بالاتر در تعیین ضرایب رفتار قابهای MDOF با افزایش پیوند، اهمیت می‌یابد. عبارت دیگر ضریب اصلاح ضریب رفتار  $(1/\Gamma_{vmdof})$  با افزایش پیوند، کاهش می‌یابد.

## مراجع

مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، بارهای وارد بر ساختمان، دفتر تدیون و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۶.

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم، ۱۳۸۴.

ASCE (2007). *Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*, ASCE/SEI 41-06. American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.

Chopra, Anil K. (1995), *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering*, Prentice Hall, New Jersey.

Computers and Structures. ETABS2013 user's manual. Berkeley (CA): Computers and Structures Inc. 2013.

Humar, j. and Rahgozar, M. (1996) Application of inelastic response spectral derived from seismic hazard spectral ordinates for Canada, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol.23.

McKenna, F. and Fenves, G. Open System for Earthquake Engineering Simulation. University of California, Berkeley. <http://opensees.berkeley.edu>, 2000.

Nassar, A. A., and Krawinkler, H. (1991). *Seismic demands for SDOF and MDOF systems* John, A. Blume Earthquake Engineering Center Report No. 95, Department of Civil Engineering, Stanford University.

Santa-Ana, P. (2004), Estimation of strength reduction factors for Elastoplastic structures: modification factors. 13WCEE, Paper No. 126, Vancouver, B.C., Canada.

Santa-Ana, P., and Miranda, E. (2000) Strength reduction factors for Multi Degree Of Freedom systems, 12WCEE, 1446, P-1-8.

Seneviratna, G.D. and Krawinkler, H. (1997) *Evaluation of inelastic MDOF effects for seismic design*, Report No.120, Dept. of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, California.

Veletsos, A.S. and Vann, P., (1971) Response of ground – excited elastoplastic systems, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.97.

Wang, H. Y., Cai, J., Bu, G. B. (2013), Influence of high mode effects on ductility reduction factors for MDOF shear type structures, International journal of advancement in computing technology (IJACT), Vol. 5, No. 9, 1150-1157.

