Archive of SID

اثر مودهای بالاتر در تغییر شکلهای لرزه‌ای قابهای خمشی فولادی MDOF *

فرهاد دانشجو [۱] محسن تهرانی‌زاده [۲] محسن گرامی [۳]

چکیده هدف اصلی این تحقیق تخمین نیازهای لرزه‌ای قاب‌های *MDOF* با استفاده از نیازهای سیستم‌های *SDOF* و ارائه روشی برای اندازه‌گیری حداکثر نیاز *drift* و شکل‌پذیری طبقات قابهای خمشی فولادی *MDOF* می باشد . در این رابطه اصلاحات لازم برای ارزیابی سیستم‌های *MDOF* ناشی از "مودهای بالاتر" مورد بررسی و اندازه گیری قرار می گیرند . ضرایب اصلاح معرفی شده از این مطالعه متشکل از نسبت‌هایی است که صورت و مخرج آن وابستگی یکسانی به شدت و دوام زلزله دارند . لذا استفاده از آنالیز آماری نتایج پاسخ‌های دینامیکی حاصل از زلزله های مختلف را امکان پذیر می سازد . نتایج تحقیق برروی قابهای مورد مطالعه نشانگر آن است که اولاً توزیع ضرایب شکل پذیری دینامیکی طبقات و توزیع *drift* طبقات در ارتفاع قاب‌ها (بویژه در طبقات فوقانی) از حالت یکنواخت خارج می شود. علت این امر دخالت مودهای بالاتر است که با افزایش ارتفاع ، تشدید می گردد . ثانیاً بزرگنمایی نیاز تغییر شکل (*drift* و شکل‌پذیری طبقه) در قاب‌های *MDOF* (ضرایب اصلاح $\alpha^{d}_{H.M}$ و $\alpha^{\mu}_{H.M}$) با افزایش پریود و ازدیاد سطح شکل‌پذیری (μ_{SDOF})، غالباً افزایش می یابند.

واژه‌های کلیدی قاب‌های خمشی فولادی، ارزیابی عملکرد، رفتار لرزه‌ای، چند درجه آزادی.

Higher Mode Effects on Seismic Behavior of MDOF Steel Moment Resisting Frames

F. Daneshjoo M.Tehranizade M. Gerami

Abstract *The main objective of this study is to estimate seismic demands of MDOF frames, using SDOF system demands and to presents a procedure to evaluate maximum story drift and ductility demands of MDOF Steel Moment Resisting Frames. Some modifications have been studied, in order to evaluate MDOF system demands, including higher modes. These modification factors are computed as the ratios between MDOF and the first mode SDOF seismic demands for each record, making them independent from the intensity and duration of ground motion. This permits the statistical averaging of modification factors computed for ground motions of different intensities and duration. The results of this study show that the distribution of story drift and dynamic ductility demand over the height of the frames (specially high-rise ones), have an irregular trend. The reason is attributed to higher modes and MDOF effects, which is intensified with increasing the structure height and fundamental period. It was also concluded that the amplification of deformation demands(story drift and ductility respresented by* $\alpha^{d}_{H.M}$ *and* $\alpha^{\mu}_{H.M}$ *modification factors),are mostly increasing with fundamental period and level of ductility (*μ_{SDOF}*) .*

Key Words Steel Moment Resisting, Performance Assessment, Seismic Behavior, Multi Degree of Freedom.

---

* نسخه اولیه مقاله در تاریخ ۸۱/۷/۱۵ و نسخه نهایی آن در تاریخ ۸۲/۲/۲۷ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، بخش عمران

(۲) استاد ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده فنی و مهندسی،بخش عمران

(۳) دانشجوی دکترا ،دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، بخش عمران

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

پیش‌بینی تغییرشکل (drift و شکل‌پذیری) طبقه‌ای در طراحی لرزه‌ای قاب‌های MDOF به دلایل مختلف حائز اهمیت می‌باشد . تخمین drift برای تعیین حداقل فاصله با ساختمان‌های مجاور (درز انقطاع) به منظور ممانعت از ضربه به یکدیگر، لازم می‌باشد. این پیش‌بینی‌ها همچنین اطلاعات مهمی را برای تحلیل‌های posh over (که به عنوان معیارهای ساده‌ای جهت ارزیابی عملکرد سیستم‌های سازه‌ای پیشنهاد شده‌اند) فراهم می‌آورند. driftهای بین طبقه‌ای سهم قابل توجهی در ایجاد صدمه به اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای دارند. توجه روز افزون به هزینه‌های ناشی از خسارات لرزه‌ای و مشکلات ناشی از آن (در حوزهٔ ورود سازه به رفتار غیرخطی) به ضرورت کنترل میزان خسارات و قابلیت تعمیر سازه در مرحله طراحی تأکید می‌کنند. بررسی نیازهای تغییرشکل نشان می‌دهند که نیازهای شکل‌پذیری طبقه‌ای بستگی به پریود اولیه، مقاومت و مکانیزم شکست سازه‌ها بستگی زیادی دارند؛ اما نیاز شکل‌پذیری سراسری از مکانیزم تسلیم مستقل می‌باشد [1]. سازه‌هائی که عمدتاً در مود اول خود مرتعش می‌شوند، توزیع drift و شکل‌پذیری طبقه در ارتفاع آن‌ها تقریباً یکنواخت خواهد بود. افزایش ناگهانی در تغییر شکل طبقات تحتانی به اثرات P-Δ و افزایش ناگهانی در تغییر شکل طبقات فوقانی به دخالت "مودهای بالاتر"، نسبت داده می‌شود. به طور کلی مقادیر شکل‌پذیری بین طبقه‌ای حاصل از آنالیزهای دینامیکی در ارتفاع، تغییرات عمده‌ای می‌یابند و پیش بینی نسبت‌های drift بین طبقه‌ای در غیاب آنالیزهای دینامیکی غیر خطی (مثلاً از تحلیل posh over) بایستی با احتیاط انجام گیرد، چرا که تخمین این مقادیر به نوع مکانیزم تسلیم و اثر ((مودهای بالاتر)) وابسته می‌باشد. پاسخ‌های مختلف سازه‌های MDOF در برابر زلزله، تحت تأثیر مودهای بالاتر و یا تحت تأثیرات MDOF قرار می‌گیرند و این امر باعث بروز اختلاف بین پاسخ کلی و پاسخ حاصل از مود اول می‌گردد. میزان این تأثیر بسته به نوع پاسخ، خصوصیات زلزله، مشخصات سازه و سطح شکل‌پذیری، متفاوت خواهد بود.

تاریخچهٔ تحقیقات

ارتباط بین پاسخ سیستم‌های SDOF و MDOF برای اولین بار توسط Veletsos و Van [2] مورد مطالعه قرار گرفت. هدف مطالعهٔ آنها معرفی پارامترهایی بود که تأثیر قابل توجهی در پاسخ سیستم‌های MDOF الاستو پلاستیک دارند. همچنین، ارتباط بین پاسخ این سیستم‌ها با پاسخ سیستم‌های خطی معادل از دیگر اهداف مطالعهٔ یاد شده بوده است. Humar و Rahgozar [3] یک قاب برشی ۱۰ طبقه با توزیع جرم یکنواخت و ارتفاع طبقات ثابت را مورد مطالعه قرار دادند. این مطالعه نشان داد که برای سطوح شکل‌پذیری زیاد، نیاز شکل‌پذیری تغییر مکانی در بسیاری از طبقات قاب MDOF می‌تواند نسبت به شکل‌پذیری سیستم SDOF معادل، افزایش قابل توجهی داشته باشد. آنها همچنین نتیجه گرفتند که پائین ترین طبقه در اغلب موارد، طبقه بحرانی می‌باشد هر چند که طبقات بالاتر نیز می‌توانند در اثر دخالت مودهای بالاتر، مقادیر نیاز شکل‌پذیری بیشتری را از خود نشان دهند. Seneviratna و Krawinkler [4] با در نظر گرفتن دو نوع سیستم باربر جانبی قاب‌های خمشی فولادی و دیوارهای سازه‌ای، اصلاحات لازم را برای پاسخ سیستم‌های SDOF جهت تخمین نیازهای لرزه‌ای سازه‌های MDOF از طیف‌های ارتجاعی و غیرارتجاعی مورد مطالعه قرار دادند. این مطالعه نشان می‌دهد که به استثناء سازه‌های دارای پریودهای خیلی کوتاه، حداکثر نیاز شکل‌پذیری طبقه‌ای یک قاب MDOF از

www.SID.ir

Archive of SID

شکل‌پذیری سیستم SDOF معادل مودال اول (μ_{SDOF}) بیشتر می‌باشد. این اختلاف با افزایش پریود شدت می‌یابد که بیانگر اهمیت مودهای بالاتر در این قاب‌ها است. اخیراً Gupta و Krawinkler [5] طی مطالعه‌ای رفتار قاب‌های خمشی فولادی را درسطوح مختلف خطرلرزه‌ای مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه با در نظر گرفتن سه قاب ۳، ۹ و ۲۰ طبقه، اثر مودهای بالا، بر حداکثر نیاز drift طبقه‌ای و همچنین ارتباط بین حداکثر نیازهای drift طبقه‌ای و drift سراسری مورد بررسی قرار گرفت. آنها نشان دادند که با افزایش پریود، مودهای بالاتر اهمیت یافته و توزیع مقادیر drift در ارتفاع قاب از روند یکنواخت، خارج شده وزوایای drift طبقه‌ای و سراسری از هم فاصله می‌گیرند. Gupta [6] نتیجه گرفت که رابطهٔ بین حداکثر نیاز drift طبقه‌ای و سراسری در قاب‌های خمشی MDOF به ویژگیهای سازه و زمین لرزه بستگی داشته و ضرائب تجربی را پیشنهاد نمود که به ارتفاع قاب وابسته بود. دانشجو و گرامی [7,8] ضمن بررسی موضوع تأثیر عوامل مختلف بر مقاومت افزون قاب‌های خمشی فولادی بلند مرتبه به موضوع اهمیت تأثیر مودهای بالاتر ارتعاش در رفتار لرزه‌ای ساختمانهای بلند پرداختند. آنها نتیجه گرفتند که تأثیر مودهای بالاتر در ارزیابی لرزه‌ای سازه‌های MDOF به صورت افزایش نیاز شکل‌پذیری و کاهش ضریب رفتار، ظاهر می‌گردد. بنابراین در نظر نگرفتن این اثر، بخصوص در سازه‌های بلند، در جهت خلاف اطمینان طراحی می‌باشد.

با بررسی مطالعات یاد شده، مشخص گردید که پژوهشگران معدودی روش‌های تخمین نیازهای لرزه‌ای سیستم‌های MDOF غیرارتجاعی را مورد مطالعه قرار داده‌اند. روشهای مختلف این مطالعات به سه گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول استفاده از روشهای سازهٔ خطی معادل است که در آن نیازهای لرزه‌ای سازهٔ MDOF اصلی، از یک سازهٔ MDOF معادل که سازهٔ جایگزین نام دارد تخمین زده می‌شوند [9,10]. برای دستیابی به این سازهٔ خطی معادل، سختی اعضایی که از آنها رفتار غیرارتجاعی انتظار می‌رود کاهش و میرائی موثر آنها افزایش می‌یابد. روابط تجربی برای این ویژگی‌های معادل بر اساس محدودهٔ تغییر شکل‌های مجاز هر عضو، ارائه شده است. در گروه دوم، برای محاسبهٔ نیازهای لرزه‌ای سیستم‌های MDOF غیرارتجاعی از ترکیب مودال (SRSS,CQC) پاسخ‌های طیفی غیرارتجاعی استفاده می‌گردد [5,11,12]. هر چند این روش هیچ پایه تئوری ندارد، اما انتظار می‌رود که تقریبی از پاسخ کلی غیرارتجاعی سیستم MDOF را بدست دهد. مطالعات انجام گرفته در [13] نشان داده است که نتایج حاصل از این روش برای احتساب تمرکز موضعی تنش‌های غیرارتجاعی و اثرات مربوط به استفاده از رکوردهای نزدیک گسل، نیاز به اصلاح دارند. در گروه سوم، از سیستم‌های SDOF معادل استفاده می‌شود. در این روش فرض می‌شود که پاسخ سیستم MDOF را می‌توان به پاسخ سیستم SDOF معادل ارتباط داد. بدین‌ترتیب طبق این فرض اولاً پاسخ سیستم MDOF تنها به وسیله یک مود کنترل می‌شود و ثانیاً شکل این مود در طول تاریخچهٔ زمانی ثابت می‌ماند. هر چند این فرضیه‌ها، هردو، نادرست می‌باشند، لیکن مطالعات انجام گرفته توسط برخی از پژوهشگران نشان داده است که این فرضیه‌ها به تخمین‌های نسبتاً خوبی از حداکثر پاسخ لرزه‌ای سیستم‌های MDOF منجر می‌گردد. [14,15,16,17,18,19].

در این تحقیق اندازه‌گیری نیازهای لرزه‌ای سیستم‌های MDOF (غیرارتجاعی) از طریق مقایسهٔ پاسخ‌های سازهٔ MDOF اصلی با سیستم SDOF معادل و با معرفی ضرائب اصلاحی برای پاسخ‌های سیستم‌های SDOF معادل انجام می‌گیرد. به همین دلیل برای هر یک از قاب‌های MDOF یک سیستم SDOF معادل تعریف شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

روش تحقیق

برای تخمین نیازهای لرزه‌ای، بیشتر تحقیقات انجام گرفته بر روی سیستم‌های SDOF تمرکز یافته‌اند. آن دسته از تحقیقات که اثرات MDOF را نیز مورد بررسی قرار داده‌اند، اثر مودهای بالاتر را به صورت کیفی مطالعه نموده و تنها بر اهمیت احتساب مودهای بالاتر تأکید کرده‌اند. در این مقاله بررسی پارامتری و کمّی اثرات MDOF بر پاسخ drift و شکل‌پذیری طبقات قاب‌های MDOF مورد توجه قرار گرفته است. برای این منظور برای هر قاب MDOF یک سیستم معادل SDOF تعریف شده است. سیستم SDOF معادل در معادلات حاضر بگونه‌ای در نظر گرفته شده است که جرم سیستم SDOF معادل، برابر با مجموع کل جرم طبقات سازهٔ MDOF بوده و سختی جانبی آن به گونه‌ای است که پریود ارتعاشی سیستم SDOF معادل برابر با پریود مود اول ارتعاشی سازهٔ MDOF باشد. برای برقراری ارتباط میان پاسخ‌های سیستم SDOF و سازهٔ MDOF ، ضرایب اصلاح $\alpha^{d}_{H.M}$ و $\alpha^{\mu}_{H.M}$ (ضریب اصلاح حداکثر نیاز drift و شکل‌پذیری دینامیکی طبقه) معرفی شده‌اند.

ضرایب اصلاح فوق متشکل از نسبت‌هائی است که صورت و مخرج آن وابستگی یکسانی به شدت و دوام زلزله دارند، از این رو استفاده از آنالیز آماری نتایج پاسخ‌های دینامیکی حاصل از زلزله‌های مختلف را امکان‌پذیر می‌سازد. برای بررسی سطح غیر ارتجاعی، برای هر قاب و تحت هر زلزله ضرائب شکل‌پذیری هدف (μ_i) ۳/۰، ۵/۰ و ۷/۰ در نظر گرفته شده‌اند. برای دستیابی به ضرائب شکل‌پذیری یادشده ، در سیستم‌های SDOF با سعی و خطا بر روی مقاومت ارتجاعی (F_y) و در قاب‌های MDOF با سعی و خطا بر روی ضریب مقیاس رکورد زلزله (S.F)، شکل‌پذیری موجود را (با یک درصد خطای مجاز) به شکل‌پذیری هدف (μ_i) نزدیک می‌کنیم. هدف از این تحقیق ارائه ضرائب اصلاحی برای پاسخ سیستم‌های SDOF معادل مود اول به منظور تخمین شکل‌پذیری طبقات سازه‌های MDOF می‌باشد و در این ارتباط تأثیر پریود و سطح شکل‌پذیری اثرات MDOF از پاسخ‌های قاب‌های MDOF مورد مطالعه قرار می‌گیرد. علت اصلی تفاوت پاسخ یک سازهٔ MDOF غیرارتجاعی با سیستم SDOF معادلش، دخالت مودهای بالاتر ارتعاشی است. البته مواردی مانند شکل سراسری تغییر شکل، نحوهٔ توزیع مقاومت و سختی در ارتفاع سازهٔ MDOF، نا معینی سیستم و نحوهٔ مکانیزم شکست موضعی و سراسری و بالاخره اثرات پیچشی سازهٔ سه بعدی از سایر عوامل یاد شده اختلاف بین پاسخ‌های MDOF وسیستم SDOF معادل می‌باشند.

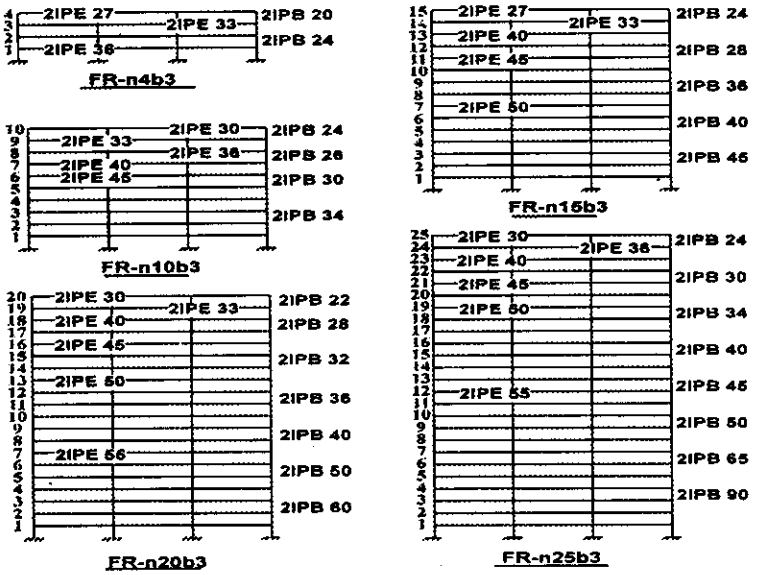
فرضیات تحقیق

سازه‌های مورد استفاده در این تحقیق قاب‌های دو بعدی فلزی با سیستم قاب خمشی می‌باشند که در تعداد طبقات ۲،۱، ٤، ۱۰، ۱۵،۲۰ و ۲۵ طبقه و سه دهانه مورد مطالعه قرار گرفته اند. ارتفاع کلیه طبقات ثابت و برابر با ٤ متر و طول دهانه‌ها ۵ متر در نظر گرفته شده است. در محاسبهٔ جرم طبقات (ثابت و متمرکز در مرکز جرم طبقات) از بار مرده بعلاوهٔ ۲۰٪ بار زنده استفاده شده است. قاب‌ها مطابق آئین نامهٔ ۵۱۹و استاندارد ۲۸۰۰ ایران بارگذاری و به روش تنش مجاز طراحی شده اند. در طراحی قاب‌ها خاک مربوط به محل احداث، خاک نوع III، منطقه با خطر پذیری بسیار زیاد و نوع کاربری مسکونی با درجهٔ اهمیت متوسط در نظر گرفته شده است. شکل بعضی از قاب‌های مورد مطالعه در این تحقیق به همراه نتیجه طراحی آنها در شکل (۱) نمایش داده شده است.

در این تحقیق از زلزله‌های طبس، ناغان، منجیل و السنترو با مشخصات زیر که رکورد شتاب نگاشت آنها در آنالیزهای تاریخچه زمانی غیر خطی توسط نرم افزار Drain2Dx [۲۰] به قاب‌ها اعمال گردیده، استفاده شده است. زلزلهٔ طبس با بیشینه شتاب زمین (PGA) معادل

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱ معرفی بعضی از قاب‌های مورد مطالعه

۰/۹۳g در مدت زمان تکان قوی ۲۵ ثانیه ثبت شده است. محل وقوع این زمین لرزه روی خاک نوع II و پریود غالب آن۰/۷۶۹ ثانیه می‌باشد. زلزلهٔ ناغان که در مدت زمان ۲۰/۹۸ ثانیه ثبت شده دارای PGA معادل ۰/۷۲g و پریود غالب ۰/۷٦٤ ثانیه می‌باشد.مدت زمان ثبت شتابنگاشت منجیل نیز ۵۳/۵۲ ثانیه بوده است. این زمین لرزه دارای PGA معادل ۰/۵g و پریود غالب ۰/۵۵٦ ثانیه می‌باشد. زلزله السنترو که در مدت زمان تکان قوی ۱۲/۱۰ ثانیه ثبت شده دارای PGA معادل ۰/۳۲ g و پریود غالب ۰/۵۵۵ ثانیه می‌باشد.

تخمین حداکثر تغییر مکان ارتجاعی بام سازهٔ *MDOF*

توزیع سختی و مقاومت در قاب‌های طراحی شده توسط آیین‌نامه می‌تواند به گونه‌ای باشد که تحت الگوی بارطراحی، حالت تغییر شکل ارتجاعی یک خط مستقیم بوده و تمامی طبقات همزمان دچار تسلیم شوند. تغییر شکل سازه در صورتی که برای انجام آنالیز push over از الگوی بار طراحی استفاده شود، در محدوده غیرارتجاعی نیز می‌تواند به صورت خط مستقیم باقی بماند. در نتیجه، چنین آنالیز posh over ای، driftهای بین طبقه‌ای را در کلیهٔ طبقات یکسان و برابر با ضریب drift سراسری (δ_t/h_t) پیش‌بینی می‌کند. این در حالی است که مقادیر drift بین طبقه‌ای حاصل از آنالیزهای دینامیکی در ارتفاع تغییرات عمده‌ای می‌یابند.

در این قسمت میزان تأثیر مودهای بالاتر بر نیازهای تغییر مکانی، در حوزهٔ ارتجاعی و با استفاده از تحلیل‌های خطی مورد بررسی قرار می‌گیرند. برای تخمین نیازهای جابجایی ارتجاعی بام قاب MDOF می‌توان از طیف‌های جابجایی ارتجاعی مربوط به سیستم SDOF استفاده نمود. برای این منظور ضریب $\alpha_{H.M}^{d,el}$ را به وسیله رابطهٔ (۱) معرفی می‌نماییم.

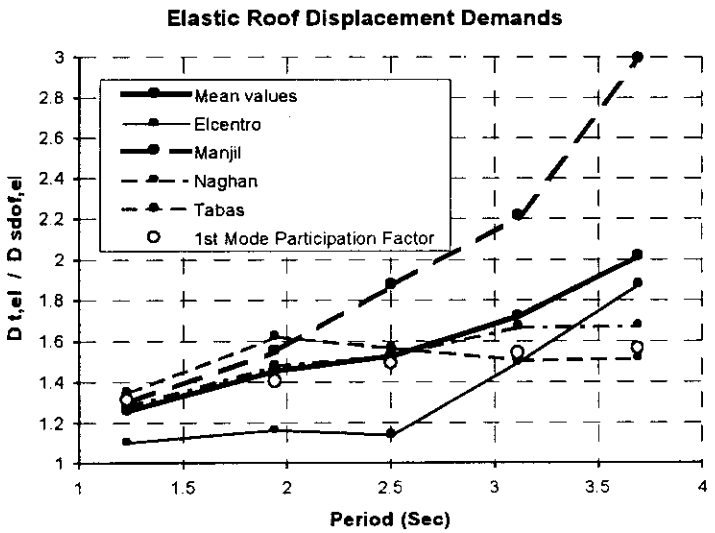
www.SID.ir

Archive of SID

$$\alpha_{H.M}^{d,el} = \frac{\delta_t^{el}}{\delta_{SDOF}^{el}} \qquad (۱)$$

در رابطهٔ فوق δ_t^{el} حداکثر تغییر مکان ارتجاعی بام قاب MDOF تحت زلزلهٔ مورد نظر و δ_{SDOF}^{el} مقدار طیفی جابجایی سیستم SDOF معادل تحت طیف پاسخ همان زلزله می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان حداکثر جابجایی بام قاب MDOF را به جابجایی طیفی ارتجاعی مود اول مرتبط ساخت. نتایج بدست آمده برای این ضریب، تحت زلزله‌های مورد نظر، همراه با ضرائب مشارکت مود اول قاب‌ها (PF1ها) در شکل (۲) نشان داده شده است.

چنانکه ملاحظه می‌گردد، مقادیر میانگین ضرائب افزایش $\alpha_{H.M}^{d,el}$ تحت رکوردهای مختلف با مقادیر ضرائب مشارکت مود اول در محدودهٔ پریودهای کوتاه از انطباق مناسبی برخوردار هستند. همچنین مقادیر میانگین ضریب $\alpha_{H.M}^{d,el}$ با افزایش پریود، افزایش یافته و اختلاف آن با ضریب مشارکت مود اول افزایش می‌یابد. این بدان معنی است که حداکثر تغییر مکان ارتجاعی بام یک قاب MDOF تحت تأثیر زلزله را می‌توان با ضرب مقدار طیفی جابجایی ارتجاعی مودال در ضریب مشارکت مود اول آن قاب، تقریب زد. در حقیقت با ضرب ضرائب PF1 در δ_{SDOF}^{el}، اثر مودهای بالاتر در تخمین جابجائی بام قاب MDOF منظور شده است. انطباق ضرائب PF1 با $\alpha_{H.M}^{d,el}$ توسط سایر پژوهشگران [۱و٦] نیز بیان شده است. تفاوت مشاهده شده در مقادیر $\alpha_{H.M}^{d,el}$ تحت رکوردهای مختلف در شکل(۲) به علت اختلاف در محتوای فرکانسی زلزله‌ها و تفاوت در مدت زمان آنها می‌باشد.



شکل ۲ اثر مودهای بالاتر در تخمین تغییر مکان ارتجاعی قاب MDOF

www.SID.ir

Archive of SID

اثر مودهای بالاتر بر حداکثر مقادیر drift و شکل‌پذیری طبقه‌ای سازهٔ MDOF

در حوزهٔ غیر ارتجاعی، نیاز drift طبقه که در قالب زاویهٔ drift طبقه (drift طبقه تقسیم بر ارتفاع طبقه) بیان می‌شود، می‌تواند یک پارامتر سراسری باشد، چرا که می‌توان آنرا به نیاز drift بام مرتبط ساخت و در عین حال می‌تواند یک پارامتر محلی باشد، چرا که به نیازهای تغییر شکلی و نیرویی اعضاء نیز وابسته است. پیش بینی drift های بین طبقه‌ای و سراسری در طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی از اهمیت خاصی برخوردارند، چرا که تجاوز این مقادیر از محدوده‌های مجاز، باعث بروز خسارت و صدمه اجزای سازه‌ای و ناسازه‌ای و در نتیجه هزینه‌های بالایی برای تعمیرات آتی می‌گردد.

برای بررسی نحوهٔ توزیع مقادیر drift در ارتفاع سازه در حوزهٔ غیرارتجاعی و همچنین ارتباط زاویهٔ drift حداکثر طبقه‌ای به زاویهٔ drift سراسری، قاب‌های مورد مطالعه را در سطوح مختلف مقاومت سازه (μ_{SDOF}) تحت آنالیز تاریخچه زمانی غیر خطی قرار داده و زاویهٔ drift کلیه طبقات و زاویهٔ drift سراسری را محاسبه می‌نمائیم. محاسبات یاد شده برای سطوح مختلف شکل‌پذیری و تحت رکوردهای گوناگون زلزله تکرار شده و برای نمونه نتایج برای قاب ۲۰ طبقه در شکل (۳) نشان داده شده است.

سازه‌هائی که عمدتاً در مود اول خود مرتعش می‌شوند دارای توزیع drift نسبتاً یکنواختی در ارتفاع خود می‌باشند. اما چنانکه از شکل (۳) ملاحظه می‌شود توزیع مقادیر drift بویژه در طبقات فوقانی، یکنواخت نبوده و دارای افزایش ناگهانی می‌باشند. افزایش ناگهانی مقادیر drift در طبقات تحتانی به اثرات P-Δ و در طبقات فوقانی به اثر مودهای بالاتر نسبت داده می‌شود. بیشتر بودن حداکثر زاویهٔ drift طبقه‌ای نسبت به زاویهٔ drift سراسری درکلیه سطوح شکل‌پذیری و تحت کلیهٔ رکوردها، از دیگر نتایج بدست آمده از شکل یاد شده است که در مورد سایر قاب‌های مورد مطالعه نیز صادق بوده است.

پس از محاسبهٔ drift کلیه طبقات تحت رکوردها و سطوح مختلف شکل‌پذیری، ضریب شکل‌پذیری دینامیکی هر طبقه از تحلیل چرخه‌ای و از رابطهٔ (۲) بدست می‌آید.

$$\mu_{s,i} = \frac{\max\left\{\delta^{+}_{s,max}, \left|\delta^{-}_{s,max}\right|\right\}}{\delta_{y,i}} \qquad (۲)$$

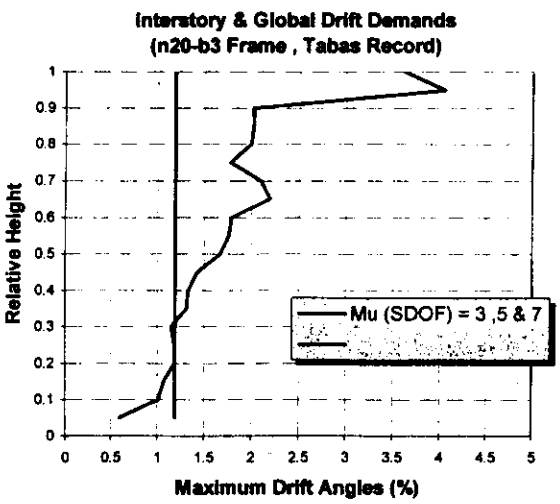
در رابطه فوق $\mu_{s,i}$ ضریب شکل‌پذیری دینامیکی طبقه i و $\delta^{+}_{s,max}$ ، $\delta^{-}_{s,max}$ و $\delta_{y,i}$ به ترتیب حداکثر drift مثبت، منفی و معادل تسلیم طبقهٔ مورد نظر به شرح شکل (٤) می‌باشند.

drift تسلیم طبقه ($\delta_{y,i}$) از آنالیز posh over طبقه i ام حاصل می‌شود به طوری که کلیه طبقات پائینی طبقهٔ مورد نظر توسط تکیه گاه‌های جانبی مهار شده و drift معادل اولین تسلیم طبقه، $\delta_{y,i}$ خواهد بود. بدین ترتیب شکل‌پذیری دینامیکی کلیه طبقات قاب‌ها در سطوح μ_{SDOF} معادل ۵،۳ و۷ محاسبه شده است. برای نمونه در شکل (۵) نحوهٔ توزیع شکل‌پذیری طبقات در ارتفاع قاب ۲۰ طبقه تحت رکوردهای مختلف ارائه شده است.

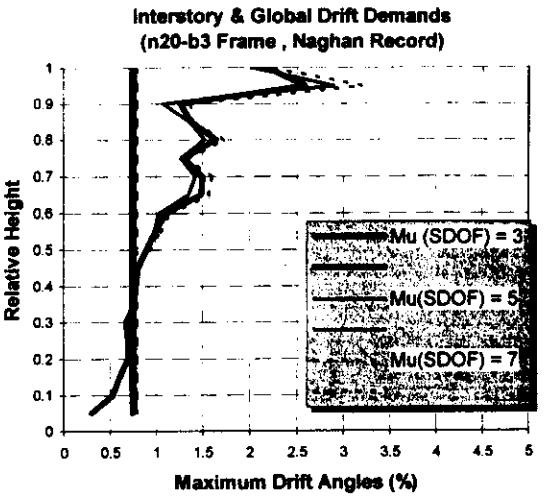
چنانکه ملاحظه می‌شود نیاز شکل‌پذیری در طبقات فوقانی قاب ۲۰ طبقه دارای افزایش نسبتاً قابل توجهی می‌باشد که آن را به اثر مودهای بالاتر نسبت می‌دهیم. این پدیده در رابطه با حداکثر drift طبقات نیز قبلاً مشاهده گردید. به طور کلی نحوهٔ توزیع drift طبقات و روند تغییرات آن در ارتفاع قاب با نیاز شکل‌پذیری طبقات، رابطهٔ بسیار نزدیکی دارد. تفاوت مشاهده شده در توزیع drift و شکل‌پذیری طبقات (شکل‌های ۳ و۵) در اثر تفاوت در رکوردها، به علت اختلاف در محتوای فرکانسی زلزله‌ها و تفاوت در مدت زمان آنها می‌باشد.

www.SID.ir

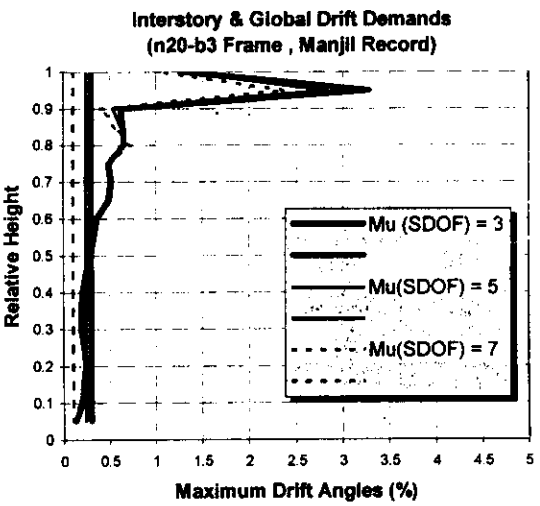
Archive of SID



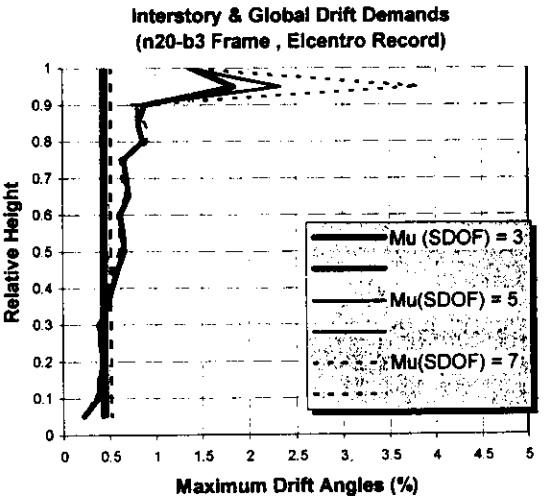
الف- زلزله طبس



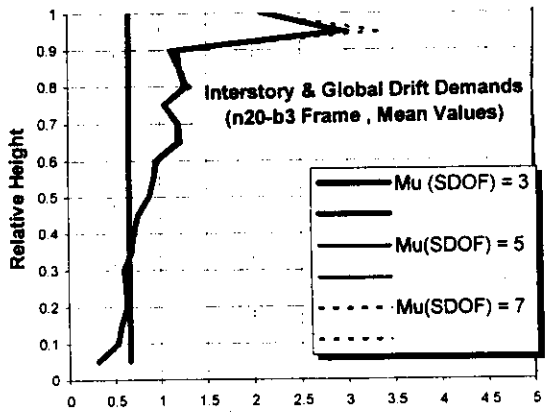
ب ـ زلزله ناغان



ج- زلزله منجیل



د- زلزله السنترو



هـ- مقادیر میانگین از زلزله‌ها

شکل۳ نحوهٔ توزیع زوایای drift سراسری و طبقه‌ای قاب ۲۰ طبقه در ارتفاع و تحت زمین‌لرزه‌های مختلف

www.SID.ir

Archive of SID

برای بررسی اثرمودهای بالاتر برحداکثر نیازdriftطبقات،میزان انحراف زاویهٔ drift طبقات رااز زاویه drift سراسری موردبررسی قرار می‌دهیم.

چنانچه سازه تحت تأثیر مودهای بالاتر نباشد و رفتار آن متأثر از یک مود ارتعاشی و به صورت خطی باشد، تساوی مقادیر زاویهٔ drift هر طبقه با زاویهٔ drift سراسری به شرح رابطهٔ (۳) مورد انتظار است.

$$\frac{\delta_t}{h_t} = \frac{\delta_i}{h_i} \qquad (۳)$$

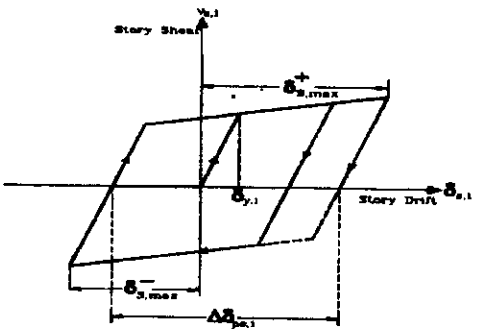
اما چنانچه از نتایج قاب ۲۰ طبقه (و سایر قاب‌ها) نیز ملاحظه گردید، نحوهٔ توزیع drift طبقات در ارتفاع سازه در سطوح مختلف μ_{SDOF} تحت تأثیر مودهای بالاتر قرار گرفته و از حالت یکنواخت خارج می‌گردد. برای تعیین میزان تأثیر مودهای بالاتر در drift طبقات، ضریب $\alpha^{d}_{H.M}$ را به وسیله رابطه (٤) معرفی می‌نماییم.

$$\alpha^{d}_{H.M} = \frac{\delta_{s,max} / h_i}{\delta_t / h_t} \qquad (۴)$$

این ضریب برای کلیه قاب‌ها و تحت کلیهٔ رکوردها و سطوح μ_{SDOF} محاسبه شده و نتایج بدست آمده بر حسب پریود اصلی سازه در شکل(٦) ارائه شده‌اند.

چنانکه ملاحظه می‌گردد ضرائب $\alpha^{d}_{H.M}$ با افزایش پریود و همچنین با افزایش سطح شکل‌پذیری سیستم SDOF عمدتاً افزایشی هستند. این امر به معنی اهمیت یافتن مودهای بالاتر با افزایش پریود و با ازدیاد μ_{SDOF} می‌باشد. نسبت‌های میانگین drift طبقه به drift بام معمولاً بیشتر از ۱/۰ می‌باشد. علت آن است که حداکثر drift طبقات یک قاب تحت یک زلزله همزمان اتفاق نمی‌افتد و مجموع حداکثر جابجائی‌های طبقات، همواره بزرگتر از جابجایی بام می‌باشد، بنابراین در صورتیکه بخواهیم توسط آنالیز posh over مقادیر حداکثر drift را در ارتفاع سازه تخمین بزنیم، لازم است جابجایی هدف را بزرگتر از جابجایی بام متناظر با زلزلهٔ طرح انتخاب نمائیم. این امر در سازهٔ با اثرات مهم مودهای بالاتر شدیدتر است. بدین ترتیب حداکثر نیاز drift طبقه، تخمین زده شده توسط آنالیز posh over دست پائین خواهد بود.

ملاحظه گردید که به علت ارتباط نزدیک میان حداکثر نیازهای drift طبقات با نیازهای شکل‌پذیری طبقات، نحوهٔ تأثیر پذیری ضرائب شکل‌پذیری دینامیکی طبقات از مودهای بالاتر نیز تقریباً مشابه آن در مورد حداکثر نیاز drift طبقات می‌باشد.



شکل ٤ مدل برش طبقه بر حسب drift طبقه

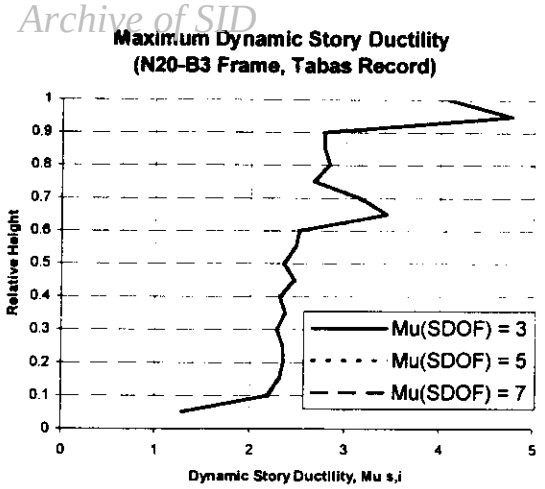
برای تعیین میزان تأثیر مودهای بالاتر در شکل‌پذیری طبقات، ضریب $\alpha^{\mu}_{H.M}$ را به وسیله رابطه (٥) معرفی می‌نماییم.

$$\alpha^{\mu}_{H.M} = \frac{\mu_{s,max}}{\mu_{SDOF}} \qquad (۵)$$

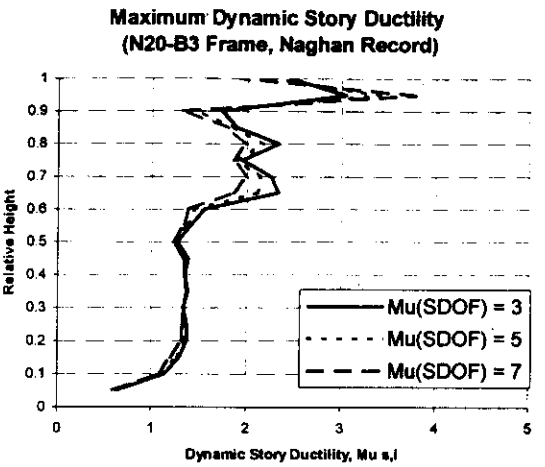
در رابطه فوق $\mu_{s,max}$ حداکثر ضریب شکل‌پذیری دینامیکی طبقه‌ای در سازهٔ MDOF و μ_{SDOF} ضریب

www.SID.ir

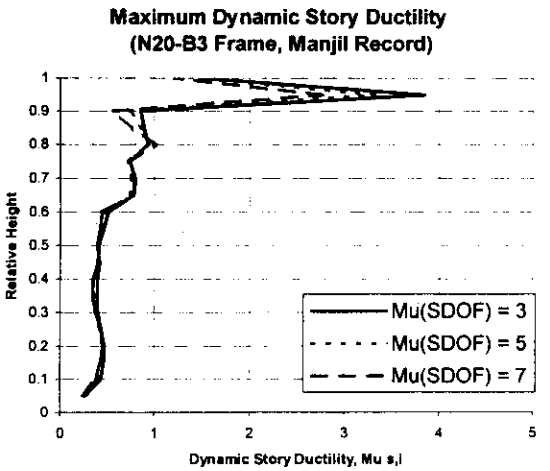
Archive of SID



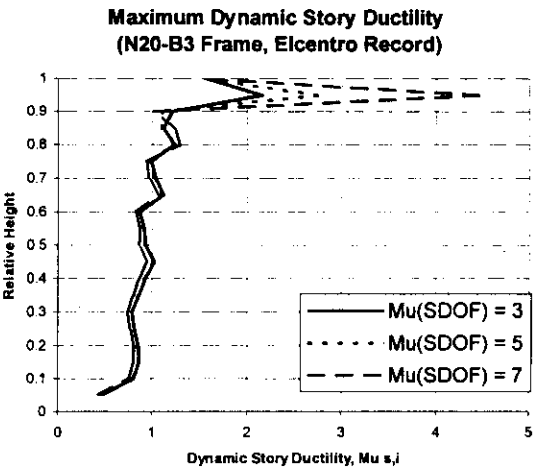
الف- زلزله طبس



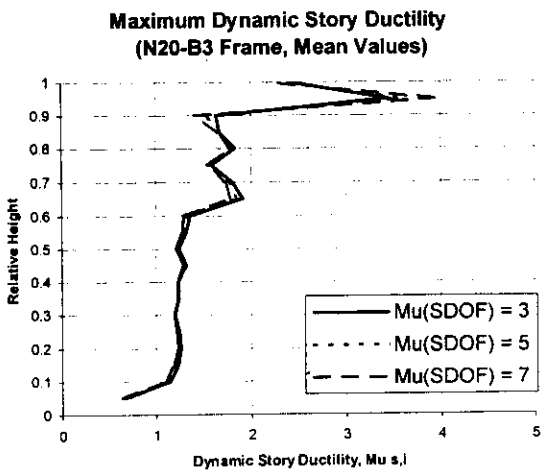
ب- زلزله ناغان



ج- زلزله منجیل



د- زلزله السنترو

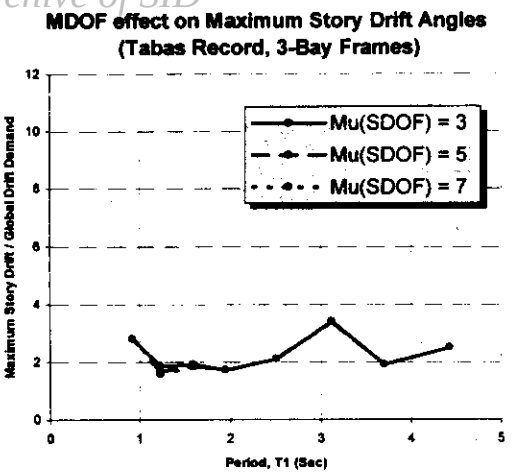


هـ- مقادیر میانگین از زلزله‌ها

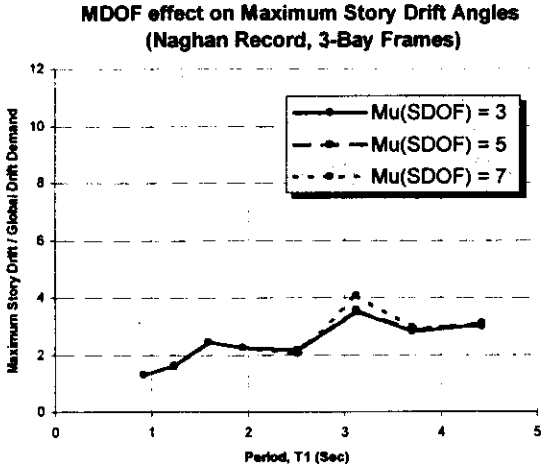
شکل ۵ نحوهٔ توزیع ضرایب شکل‌پذیری دینامیکی طبقات قاب ۲۰ طبقه در ارتفاع و تحت زمین‌لرزه‌های مختلف

www.SID.ir

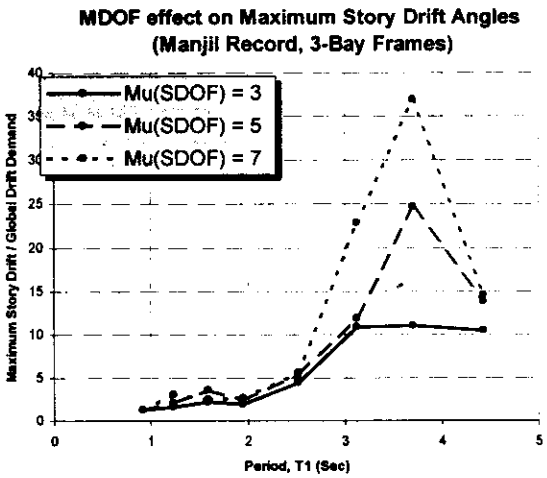
Archive of SID



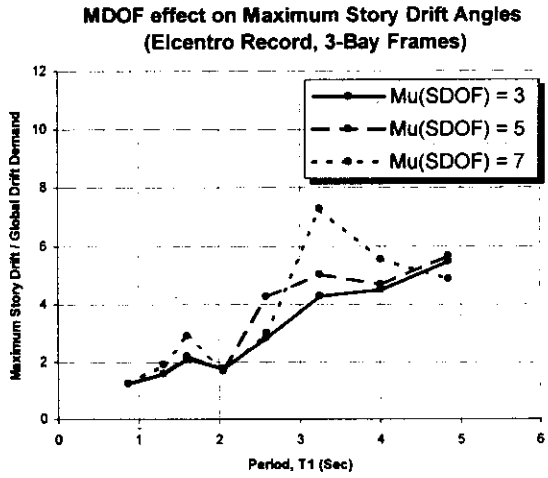
الف- زلزله طبس



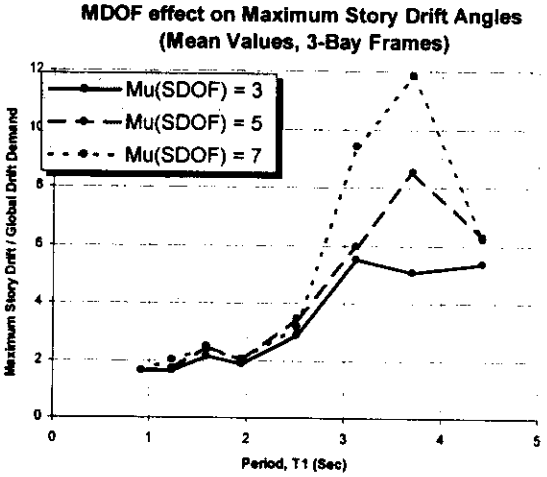
ب- زلزله ناغان



ج- زلزله منجیل



د- زلزله السنترو



هـ- مقادیر میانگین از زلزله‌ها

شکل ٦ اثرات مودهای بالاتر بر حداکثر نیاز drift طبقه در قاب‌های مورد مطالعه و تحت زمین‌لرزه‌های مختلف

www.SID.ir

Archive of SID

شکل‌پذیری سیستم SDOF معادل می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان حداکثر شکل‌پذیری قاب MDOF را به شکل‌پذیری سیستم SDOF مرتبط ساخت.

ضرائب $\alpha^{\mu}_{H.M}$را برای کلیه قاب‌های مورد مطالعه و تحت رکوردها و μ_{SDOF} های گوناگون محاسبه نموده و نتایج بدست آمد. در شکل (۷) به نمایش در آمده است.

چنانکه ملاحظه می‌شود، بزرگنمایی حداکثر نیاز شکل‌پذیری طبقه در قاب‌های MDOF نسبت به سطح شکل‌پذیری SDOF با افزایش پریود، معمولاً دارای روند افزایشی می‌باشد که این امر بیانگر اثر مودهای بالاتر می‌باشد. همچنین ضرائب $\alpha^{\mu}_{H.M}$ با افزایش مقادیر μ_{SDOF} افزایش می‌یابند که بیانگر تأثیر بیشتر مودهای بالاتر در سطوح بالاتر شکل‌پذیری می‌باشد.

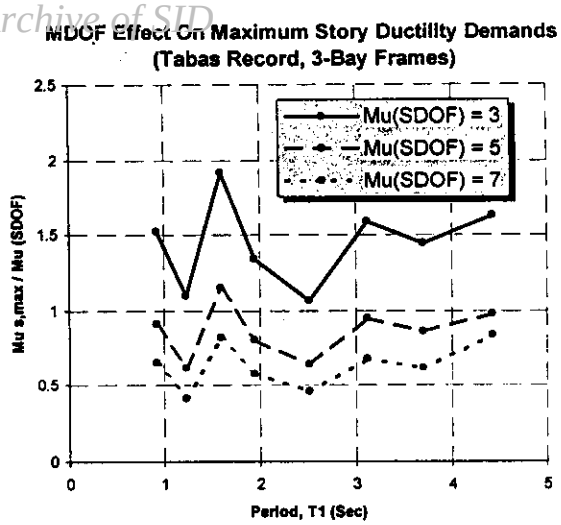
نتایج

نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان می‌دهند، پیش‌بینی نسبت‌های drift بین طبقه‌ای در غیاب آنالیزهای دینامیکی غیر خطی بایستی با احتیاط انجام گیرد. چرا که تخمین این مقادیر به مکانیزم تسلیم و "اثرات MDOF" بستگی زیادی دارد. بنابراین در صورتی که بخواهیم روش‌های آنالیز posh over را برای تخمین نیازهای drift بین طبقه‌ای مورد استفاده قرار دهیم، تنها بایستی این عمل را به سازه‌های دارای پریود کوتاه محدود کنیم. نتایج کلی زیر را می‌توان از تحقیق حاضر استخراج نمود :

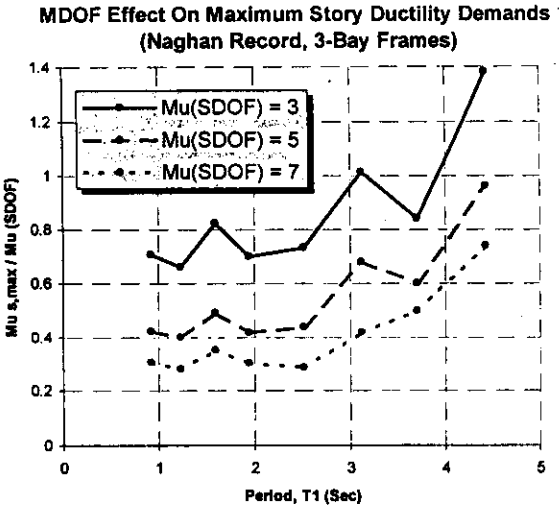
- نسبت حداکثر تغییر مکان ارتجاعی قاب MDOF به مقدار جابجایی طیفی مود اول را که با $\alpha^{d,el}_{H.M}$ نشان داده شده، می‌توان با ضریب مشارکت مود اول قاب (PF1) تقریب زد. این ضریب همواره با افزایش پریود اصلی سازه، افزایش می‌یابد (شکل ۲).
- توزیع مقادیر drift طبقات در ارتفاع قاب‌ها، بویژه در طبقات فوقانی از حالت یکنواخت خارج می‌شود. علت این امر اثرات MDOF بوده که با افزایش ارتفاع، تشدید می‌گردد (شکل ۳).
- ضرائب اصلاح α^{d}_{MDOF} که معیاری برای میزان اثرات MDOF در حداکثر نیاز drift طبقه‌ای قاب‌ها می‌باشند، با افزایش پریود و ازدیاد طبقات افزایش می‌یابند. به بیان دیگر حداکثر نیازdrift طبقه‌ای درقاب‌های بلند مرتبه از drift سراسری فاصله می‌گیرد، که بیانگر اهمیت اثرات MDOF در قاب‌های بلندمرتبه می‌باشد. همچنین ضرایب اصلاح $\alpha^{d}_{H.M}$ با افزایش سطح شکل‌پذیری μ_{SDOF} ، عمدتاً افزایشی است. به بیان دیگر حداکثر نیاز drift طبقه‌ای در سطوح شکل‌پذیری بالاتر و افزایش خاصیت غیرارتجاعی سازه، عمدتاً از drift سراسری فاصله می‌گیرد (شکل ٦).
- تبدیل drift سراسری (بام) به drift طبقه‌ای به ویژگی‌های سازه بستگی داشته و روش واحدی برای تعیین این رابطه وجود ندارد. ضرایب تجربی تقریبی که به ارتفاع سازه وابسته‌اند، همراه با یک قضاوت مهندسی از مقدار و محل حداکثر نیازهای drift طبقه، به عنوان تابعی از نیاز drift بام می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. یک آنالیز push over می‌تواند موقعیت driftهای طبقه‌ای بزرگ را تعیین کرده و بعنوان مکمل ضرایب تجربی مورد استفاده باشد.
- حداکثر نیاز شکل‌پذیری طبقه‌ای در قاب‌های بلندمرتبه از شکل‌پذیری هدف فاصله می‌گیرد، که بیانگر اهمیت بیشتر اثرات MDOF در قاب‌های بلندمرتبه می‌باشد.
- توزیع مقادیر ضرائب شکل‌پذیری دینامیکی طبقات در ارتفاع قاب‌ها، بویژه در طبقات فوقانی از حالت یکنواخت خارج می‌شود. علت این امر اثرات MDOF است که با افزایش ارتفاع، تشدید می‌گردد (شکل ٤).
- ضرائب اصلاح $\alpha^{\mu}_{H.M}$ که بیانگر اثرات MDOF

www.SID.ir

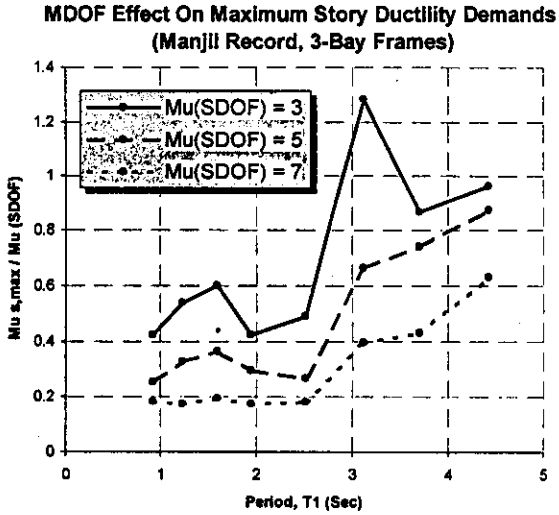
Archive of SID



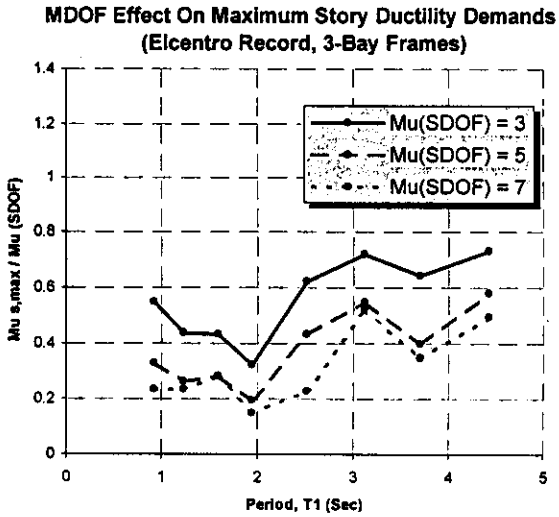
الف- زلزله طبس



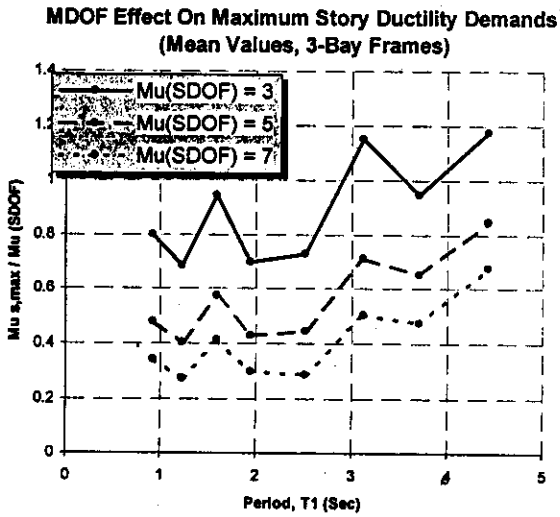
ب- زلزله ناغان



ج- زلزله منجیل



د- زلزله السترو



هـ- مقادیر میانگین از زلزله‌ها

شکل ۷ اثر مودهای بالاتر بر حداکثر نیاز شکل‌پذیری دینامیکی طبقه در قاب‌های مورد مطالعه و تخت زمین‌لرزه‌های مختلف

www.SID.ir

Archive of SID

در حداکثر نیاز شکل‌پذیری طبقه‌ای قاب‌های MDOF هستند، با افزایش پریود افزایش می‌یابند. ضرایب اصلاح $\alpha_{H.M}^{\mu}$ با افزایش سطح شکل‌پذیری μ_{SDOF}، معمولاً افزایشی است. به بیان دیگر حداکثر نیاز شکل‌پذیری طبقه‌ای در سطوح شکل‌پذیری بالاتر و افزایش خاصیت غیرارتجاعی سازه، معمولاً از شکل‌پذیری هدف سیستم SDOF معادل (که طراحی براساس آن انجام گرفته) فاصله می‌گیرد (شکل ۷).

مراجع

1. Seneviratna , G. D. P.K., "Evaluation of inelastic MDOF effects for Seismic design". Ph.D. Dissertation Dept. of Civil Engineering , Stanford University, (1995).
2. Veletsos, A.S. and vann, P., "Response of ground-excited elastoplastic systems", ASCE, *Journal of the Structural Division*, Vol.97 (1971).
3. Humar, j., and Rahgozar, M., "Application of inelastic response spectral derived from seismic hazard spectral ordinates for Canada," *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol.23 (1996).
4. Seneviratna, G. D., and Krawinkler, H., "Evaluation of inelastic MDOF effects for seismic design", Report No. 120, Dept. of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, California (1997).
5. Gupta, A., and Krawinkler, H., "Behavior of ductile SMRFS at Various Seismic Hazard Levels ." *J. Struct.Eng.*, p.p. 98-107 (2000).
6. Gupta, A. "Seismic Demands for Steel Moment Resisting Frame Structures", Ph.D. Dissertation Dept. of Civil Engineering, Stanford University. (1998).
۷. فرهاد دانشجو و محسن گرامی،" تأثیر عوامل مختلف بر مقاومت افزون قاب‌های خمشی فولادی بلند مرتبه تحت تأثیر زلزله "، مجموعه مقالات دومین همایش بین المللی ساختمان‌های بلند، صفحات ۱٦٤-۱۵۳ ، اردیبهشت (۱۳۸۰).
۸. فرهاد دانشجو و محسن گرامی،"بررسی اهمیت تأثیر مودهای بالاتر ارتعاش در رفتار لرزه ای ساختمان‌های بلند "، مجموعه مقالات دومین همایش بین المللی ساختمان‌های بلند، اردیبهشت ۱۳۸۰، صفحات ۱۷٦-۱٦۵ .
9. Fajfar, P., and Fischinger, M., "N2-A Method for Non-linear Seismic Analysis of Regular Building ", Proccedings of 9 th WCEE, Vol.5, Tokyo, Japan, August. PP. 111-116., (1988).
10. Maldonald, Gustavo Omar, "Stochastic and seismic design response of linear and nonlinear structures", Ph.D Dissertation, virginia polytechnic Inst and state Univ., Blacksburg. (1992).
11. Anagnostopoulos ,S.A., Haviland , R.W., and Biggs , J . M., "Use of Inelastic Spectra in Aseismic Design", *Journal of the Structural Division , ASCE* , vol. 104,No.ST1, (1978).

www.SID.ir

Archive of SID

12. Bertero, V.V., Herrera, R.A., and Mehin . S.A., "Establishment of Design Earthquakes – Evaluation of Present Methods", *International Symposium on Earthquake Structural Engineering* , St. Louis, (1976).

13. Anagnostopoulos ,S.A., Haviland , R.W., and Biggs , J . M., "Use of Inelastic Spectra in Aseismic Design", *Journal of the Structural Division , ASCE* , vol. 104,No.ST1, (1978).

14. ATC-2,"An Evaluation of a Response spectrum Approach to Seismic Design of Buildings", Applied Technology Council , (1974).

15. Bertero ,V.V., and Kamil , H., " Nonlinear Seismic Design of Multistory Frames", *Canadian Journal of Civil Engineering* , vol.2, No.4,December (1975).

16. Miranda ,E., "Seismic Evaluation and Upgrading of Existing Buildings , "Ph.D. Dissertation ,Dept. of Civil Engineering , University of California , Berkeley. (1991).

17. Lawson, R.S.,Vance , V. and Krawinkler ,H., "Nonlinear Static Push – Over Analysis – Why , when, and How?" , Proceedings of the 5th U.S. Conference in Earthquake Engineering , Chicago, Vol. 1, p 283-292. (1994).

18. Miranda ,E.,"Strength Reduction Factors in Performance-Based Design", National Information service for Earthquake Engineering, (nisee), 31, 1997, Berkeley, California. (1997).

19. R-santa-Ana, P. and Miranda, E., "Strength reduction factors for MDOF system", 12th WCEE 2000. (2000).

20. Prakash ,V.and Powell,G. " Drain-2DX ,Version 1.10 ", Department of Civil Engineering , University of California at Berkeley , Berkeley, California. (1993).

www.SID.ir