مقایسهٔ نقطه عملکردی سازه‌ها با توزیع افقی نیروی زلزله به روش‌های مختلف و تاریخچه زمانی شتاب زلزله

احمد نیکنام [1]، علی عطّاری [2]

1- استاد دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران- نارمک- دانشگاه علم و صنعت
a_nicknam@iust.ac.ir
2-کارشناسی ارشد عمران - زلزله، تهران- نارمک- دانشگاه علم و صنعت
ali.attari61@yahoo.com

چکیده

آنالیزهای استاتیکی به علت عدم توانایی در بررسی رفتار واقعی سازه پس از آغاز تسلیم مناسب نیستند و انجام آنالیزهای غیر خطی برای مشخص ساختن شکلهای شکست سازه و فروریزش آن ضروری به نظر می‌رسد. اگرچه تحلیل و ارزیابی خطی دید خوبی از ظرفیت الاستیک سازه فراهم می نماید و موقعیت اولین نقطهٔ تسلیم را در اختیار محقق قرار می دهد اما با این حال قادر به پیش بینی مکانیزم شکست سازه و چگونگی باز توزیع نیروها در حین تسلیم‌های پی‌درپی نبوده و نتایج قابل اطمینانی در رابطه با میزان تغییرشکل‌های پلاستیک و در نتیجه میزان آسیب‌های سازه‌ای در اختیار ما نمی‌گذارد.از طرفی برای یک ساختمان آسیب دیده که خصوصیات دینامیکی آن بعد از زلزله تغییرات قابل توجهی یافته است و هم چنین برای ساختمان‌هایی که قرار است با تکنیک‌های جدیدی تقویت لرزه‌ای گردند، بررسی رفتار غیرخطی سازه ضروری است.به همین دلیل در این مقاله به بررسی اثرات الگوهای مختلف بارگذاری جانبی در تحلیل پوش‌آور می‌پردازیم، زیرا این موضوع بیشترین تاثیر را در نتایج تحلیل می‌گذارد و این اهمیت موضوع را می‌رساند.

واژه‌های کلیدی: سیستم لرزه‌بر فولادی قاب خمشی ، روش تحلیل بارافزون سنتی، روش تحلیل بارافزون مدال اصلاح شده، روش تحلیل دینامیکی غیرخطی

1. مقدمه

علیرغم اینکه استفاده از روش آنالیز استاتیکی غیرخطی که آنالیز پوش‌آور نامیده می‌شود، به سال 1970 باز می‌گردد ، این نوع تحلیل در 20 سال اخیر توسعه بسیار چشمگیری داشته است. امروزه بیشتر مهندسین این روش را به علت سهولت به عنوان یک روش ترجیحی بکار می برند. با این حال این روش نیز مانند سایر روش‌ها با تقاریب و ساده سازیهایی همراه است که باعث بوجود آمدن عدم قطعیت‌هایی در نتایج می‌شود.با اینکه این روش ظاهرا به عنوان بهترین روش سازه‌ها کاربرد گسترده پیدا کرده است، اما هنوز بحث و بررسی در مورد دقت و صحت نتایج این روش و تلاش برای ساده‌سازی و کاربردی کردن آن ادامه دارد . امروزه توسعه روش پوش‌آور

Archive of SID
www.SID.ir

و سعی در غلبه بر محدودیت‌های این روش به صورت یک عملکرد تجاری در آمده است ، زیرا به علت پیچیدگی و زمان‌بر بودن سایر روش‌های دقیق‌تر استفاده از آنها در مهندسی حرفه‌ای یا در آئین‌نامه‌ها منطقی به نظر نمی‌رسد. توصیه بیشتر آئین‌نامه‌های اخیر استفاده از روش تحلیل پوش‌آور در بررسی ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها می‌باشد.در این روش هر ساختمان طوری طراحی می‌شود که دارای عملکرد مورد نیاز در مقابل زمین‌لرزه‌هایی با شدت‌های مختلف باشد.برای مثال یک ساختمان می‌تواند برای عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه برای یک زمین‌لرزه مشخص طراحی شود و برای زمین‌لرزه‌های با شدت بالاتر فقط عملکرد عدم فروریزش از آن انتظار رود. برای رسیدن به این هدف مهندسین نیاز به اطلاعاتی درباره توزیع نیروهای داخلی و تغییر شکلهای المان‌های سازه در طی مدت زمین‌لرزه دارند. در طول چند دهه اخیر مقالات متعددی در خصوص این روش منتشر شده است. بحث عمده بیشتر این مقالات بر روی محدوده کاربرد ، مزایا و معایب این روش و مقایسه آن با روش‌های دینامیکی خطی و غیرخطی اختصاص داشته است.این ارزیابی بر پایه تخمین پارامترهای سازه‌ای مهمی چون جابجائی نسبی طبقات، جابجائی کل، تغییر شکل‌ها و نیروهای داخلی اعضا استوار بوده و پارامترهای مختلفی چون رفتار غیرخطی مصالح، هندسه غیرخطی سازه و همچنین توزیع نیروهای داخلی مورد توجه محققین بوده است. در پژوهش‌های اولیه تاکید عمده بر استفاده از نوع بارگذاری یکنواخت یا مثلثی بود، ولی با انجام بررسی‌های بیشتر و مشاهده کمبودها، انواع دیگری از بارگذاری توسط محققین مختلف پیشنهاد گردید.

2. هدف تحقیق

1. انتخاب یک روش مناسب معادل از بین روش‌های کاربردی موجود جهت تخمین نیازهای لرزه‌ای سیستم لرزه‌بر قاب خمشی
2. انتخاب الگوهای توزیع بار مناسب در تحلیل بارافزون و مزایای استفاده از روش‌های بارافزون چند مودی

3. مروری بر منابع

همواره این باور وجود داشت که وقتی سازه در معرض یک زمین لرزه شدید قرار می‌گیرد بصورت غیرخطی تغییر شکل می‌یابد، بنابراین در ارزیابی عملکردی سازه‌ها این عقیده وجود داشت که باید قسمت پس از تسلیم هم ارزیابی شود. پس از آن تلاش در رفتار غیرخطی سازه بوسیله تحلیل‌های غیرخطی موضوع اصلی پژوهش‌های مختلف گردید، زیرا آنالیزهای استاتیکی رفتار سازه را تنها تا اولین نقطه تسلیم نشان می‌دادند.علاوه بر این ماکزیمم جابجائی غیرخطی برای بررسی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها ضروری می‌نمود.به علت علاقه شدید مهندسین به آنالیز غیرخطی سازه‌ها و جذابیت آنالیز پوش‌آور به علت سادگی، این روش تحلیل مورد توجه قرار گرفت.امروزه نقش روش عملکردی در ارزیابی لرزه‌ای و طراحی سازه‌ها انکارناپذیر است. عملکرد متفاوت ساختمان‌ها در برابر زلزله با توجه به نوع کاربری آنها در دهه 70 با معرفی ضریب اهمیت (I) در محاسبه نیروهای

Archive of SID

www.SID.ir

زلزله وارد گردید. این ضریب برای ساختمان و با کاربری‌های متفاوت و با اهمیت آنها متغیر انتخاب گردید. در ایران نیز پس از رخداد زلزله بندرعباس در سال 1355و زلزله طبس در سال 1357 نیاز شدیدی برای تدوین ضوابط محاسبه و طراحی ساختمان‌در برابر زلزله احساس گردید. بدین منظور فصل هشتم استاندارد 519 برای محاسبه نیروهای حاصل از زلزله پیشنهاد شد. در این استاندارد نیز با معرفی ضریب اهمیت انتظار می‌رفت که ساختمان‌ها با کاربری‌های متفاوت سطح عملکرد متفاوتی را در مقابل زلزله از خود نشان دهند. در دستورالعمل‌های یادشده ضریب اهمیت با هدف تغییر سطح عملکرد ساختمان‌ها با کاربری‌های متفاوت معرفی شده است. در حالیکه تغییر در مقدار نیروی طراحی اعمال شده نمی‌توانست سطح عملکرد موردنظر و خواست طراح را تامین نماید. در هر صورت ضریب اهمیت، نقش تأمین‌کننده سطح عملکرد بالاتر در ساختمان را ایفا می‌نمود.سازه‌هایی که براساس ضوابط آئین‌نامه‌های قدیمی طراحی می‌شدند، مبتنی بر بکارگیری مقاومت نهائی اعضاء سازه‌اند که نیروی زلزله با فرض رفتار خطی سازه و با ضریب رفتار R کاهش داده می‌شود. چه در روش ضریب بار و ضریب مقاومت و چه در روش تنش مجاز طراحی در بازه رفتار خطی اعضاء و بصورت نیروئی انجام می‌گردد مفهموم آن اینست که اعضائی نظیر تیرها در سیستم قاب خمشی و یا تیر پیوند در سیستم برون مرکز که دارای رفتار تغییرشکلی‌اند در طراحی با اعضاء نیروئی بطور یکسان دیده می‌شوند. این نکته یکی از مشکلات ریشه‌ای اینگونه روش‌های طراحی است. به بیان دیگر ارتباط نیروهای طراحی و سطح عملکرد تنها با ضریب رفتار (R) انجام می‌شود که مقدار آن با استفاده از جداول آئین‌نامه اختیار می‌گردد. خوشبختانه با آزمایشات گسترده‌ای که روی سازه‌ها با مقیاس واقعی انجام شده است (FEMA355) ، این کاستی با ارائه روش‌های نو تا حد زیادی رفع شده و در دست پژوهش می‌باشد. تأمین سه پارامتر لرزه‌ای اصلی سازه شامل مقاومت، سختی و شکل‌پذیری متناسب هدف اصلی نسل جدید آئین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های ارزیابی لرزه‌ای می‌باشد. هدف از طراحی لرزه‌ای براساس عملکرد این است که طراحان را قادر سازد تا سازه‌هایی را طراحی کنند که عملکردشان مطابق با نظر کارفرما قابل پیش‌بینی باشد. از جمله مراکزی که در زمینهٔ طراحی براساس عملکرد تحقیقات گسترده‌ای انجام داده‌اند، می‌توان به انجمن تکنولوژی کاربردی آمریکا ATC ، جامعهٔ مهندسین آمریکا ASCE/SEI و انجمن ایمنی لرزه‌ای ساختمان BSSC می‌باشند. زیربنای تدوین آیین‌نامه ساختمانی بر مبنای ارزیابی لرزه‌ای براساس سطوح عملکردی در سال 1992 میلادی توسط گروه انجمن مهندسان سازه کالیفرنیا بنا نهاده شد و طی کمیته‌ای مقرر گردید تا این کار قبل از سال 2000 انجام شود ولی به جز فعالیت‌های محدود اقدام خاصی در این باره صورت نگرفت. علت تشکیل این کمیته خسارت 8 میلیارد دلاری ناشی از زلزله 1989 لوماپریتا بود. در ژانویه 1994 زلزله نوتریج با بزرگی 6/7 ریشتر به وقوع پیوست و خسارتی در حدود 20 میلیارد دلار به جای گذاشت. متعاقب آن طی مدت یک سال پیشنهادهایی برای طراحی براساس عملکردی ارائه گردید. گزارش این کمیته در سال 1995 که حاوی مباحث مفصل مهندسی زلزله در زمینه طراحی به روش عملکردی بود، منتشر گردید. در سال 1997 دستورالعمل‌های SEAOC و NEHRP برای ساختمانهای جدید و برای بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود، دستورالعمل‌های FEMA 273 مورد بازنگری قرار گرفت. بدین ترتیب نتایج گام‌های

Archive of SID

www.SID.ir

نخست در رابطه با طراحی به روش عملکردی در اختیار قرار گرفت که مشتمل بر پیشنهادها و راهنمایی‌هایی جهت طراحی ساختمانهای جدید و بهسازی ساختمانهای موجود می‌باشد. دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ایران (نشریه 360 سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی) و تفسیر آن در سال 1381بعنوان یکی از فعالیت‌های ارزنده بهسازی لرزه‌ایست که از سوی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور تدوین و انتشار یافته و مبنای بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود قرار گرفته است.

4. روش عملکردی در ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها

- اصول ارزیابی لرزه‌ای به روش عملکردی
  - ✓ انتخاب سطح خطر و سطح عملکرد مورد انتظار سازه
  - ✓ تحلیل و برآورد ظرفیت سازه
- مزایای تحلیل پوش‌آور

1- مشخص کردن مقدار نیاز جابجائی در المان‌های شکل‌پذیر

2- نتیجه کاهش سختی اجزاء بر رفتار کلی سازه

3- مشخص کردن موقعیت تشکیل مفاصل خمیری در سازه

4- تعیین تلاش‌های داخلی اعضاء جهت ارزیابی توان تحمل آنها

- کاستی‌های تحلیل پوش‌آور

جابجائی هدف (نقطه عملکرد۱) عبارتست از مقدار جابجایی که پیش‌بینی می‌شود مرکز جرم بام در برابر زلزله با سطح خطر مشخص و سطح عملکرد مشخص خواهد داشت. برکنش پی سازه، اثرات پیچش و وجود دیافراگم نیمه‌صلب در مقدار جابجائی هدف تأثیر زیادی دارند. از کاستی‌های این روش می‌توان به تعیین دقیق مقدار جابجائی هدف، انتخاب شکل توزیع بار جانبی، لحاظ نکردن مدت زمان دوام زلزله، استاتیکی وارد کردن بار و هل دادن سازه (برخلاف زلزله واقعی که سازه هم هل داده می‌شود و هم کشیده می‌شود) اشاره کرد. همچنین این روش برای تحلیل سازه‌های نزدیک به گسل که در آنها نیروی زلزله بصورت ضربه‌ای و یکباره به سازه وارد می‌شود مناسب نیست.

- انواع الگوی بارگذاری جانبی
  - ✓ الگوهایی توزیع بارثابت در ارتفاع سازه
    1. توزیع یکنواخت
    2. توزیع مثلثی وارونه
    3. توزیع متناسب با مود اول
    4. توزیع آئین‌نامه‌ای

[1] Performance Point

Archive of SID

www.SID.ir

5. توزیع ناشی از تحلیل دینامیکی طیفی

✓ روش‌های توزیع بار جانبی با الگوی متغیر

1. توزیع بار بر پایه شکل مودی که از سختی شعاعی(سکانتی) در هر گام (هر لحظه) سرچشمه می‌گیرد.
2. توزیعی که متناسب با مقاومت برشی طبقه در هر گام(هر لحظه) است.

5. معرفی ساختمان‌های مدلسازی شده

در این قسمت ابتدا فرضیات اولیه در مدلسازی، پیکربندی، بارگذاری و هندسه مدل‌ها و سپس نحوه طراحی مدل‌ها با توجه به ضوابط استاندارد 2800 و آئین‌نامه ASCE/SEI 7-05 ارائه شده است.

- فرضیات مدلسازی

علت انتخاب ساختمان‌های سه بعدی و همچنین استفاده از سیستم لرزه‌بر قاب خمشی در این تحقیق، متداول بودن این سیستم‌ها در امور اجرایی و همچنین بررسی دقت روش‌های تخمین نیازهای لرزه‌ای در خصوص سازه‌های واقعی سه بعدی، می‌باشد.

جهت رسیدن به هدف پایان‌نامه از چهار مدل با تعداد طبقات 4، 8، 12 و 16 استفاده شده است.

- هندسه و پیکربندی

» مدل‌ها بصورت 3 بعدی تحلیل و طراحی شده و در پلان و ارتفاع کاملاً منظم می‌باشند.

» ارتفاع مرکز به مرکز تمام طبقات 3 متر است.

» آئین‌نامه‌های مورد استفاده: مبحث ششم، استاندارد 2800 (شامل پارامترهای وابسته به منطقه شامل طیف، رابطه برش پایه و نوع خاک) ، ASCE/SEI 7-05 شامل پارامترهای مستقل از منطقه شامل رابطه پریود تجربی، ضریب رفتار R، رابطه توزیع برش پایه در ارتفاع، ضریب اضافه مقاومت (Ω_0) و آئین‌نامه طراحی سازه‌های فولادی AISC2005

» نرم‌افزار مورد استفاده جهت طراحی و تحلیل مدل‌ها SAP2000 V14.00 می‌باشد.

» در تحلیل مدل‌ها از خروج مرکزیت تصادفی 5٪ در نظر گرفته شده است.

6. نتایج و تفسیر آنها

جهت ارزیابی دقت نتایج تحلیل‌های پوش‌آور از کمیت‌های پاسخ زیر جهت مقایسه استفاده شده است:

✓ جابه‌جایی کلی طبقات و بام

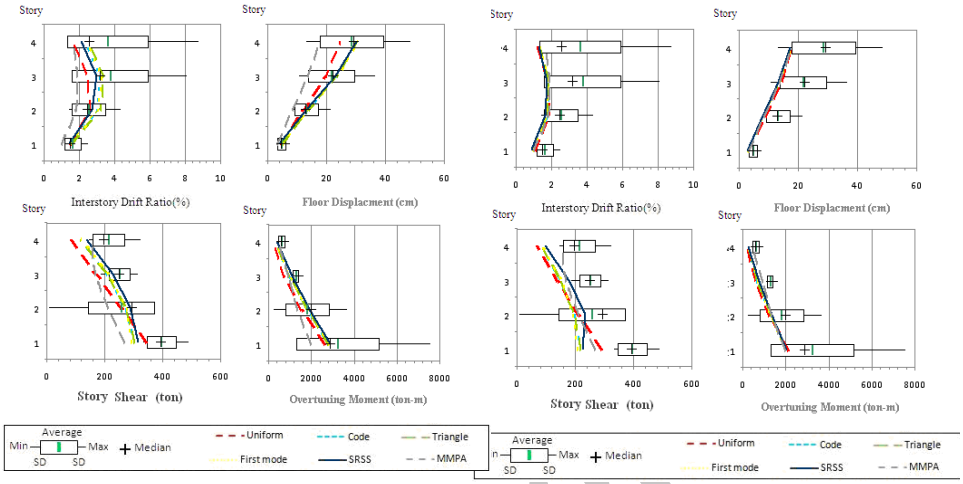
✓ جابه‌جایی نسبی طبقات بصورت درصدی از ارتفاع طبقه

Archive of SID

www.SID.ir

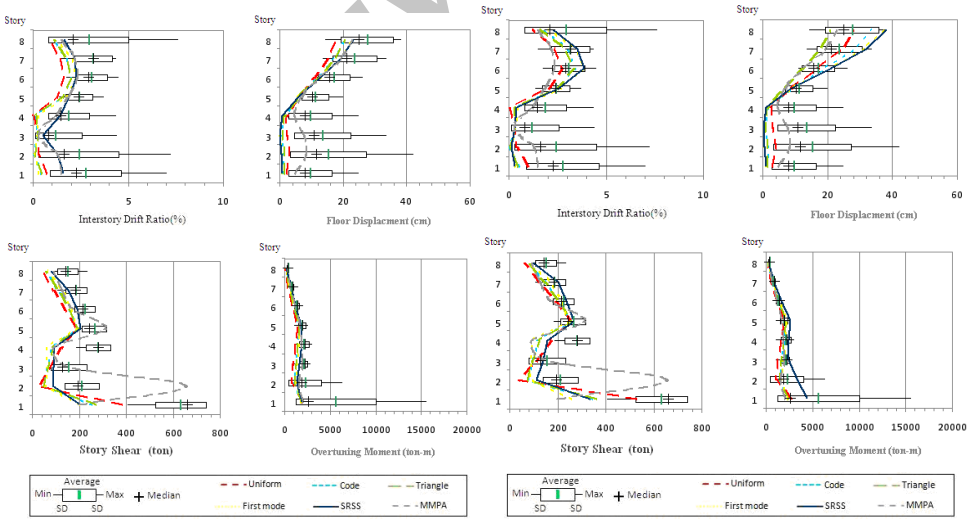
- ✓ برش طبقات
- ✓ لنگر واژگونی طبقات

- نتایج حاصل از تحلیل مدل چهار طبقه



شکل(1) : نتایج حاصل از تحلیل مدل چهار طبقه براساس روش‌های ضرائب FEMA-356 و طیف ظرفیت آیین‌نامه ATC-40

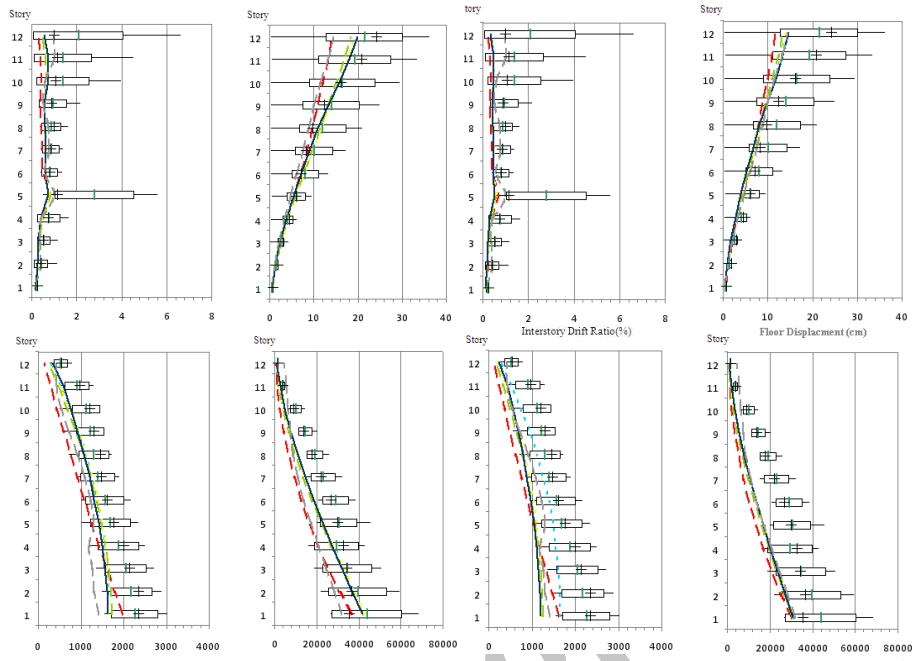
- نتایج حاصل از تحلیل مدل هشت طبقه



شکل(2) : نتایج حاصل از تحلیل مدل هشت طبقه براساس روش‌های ضرائب FEMA-356 و طیف ظرفیت آیین‌نامه ATC-40

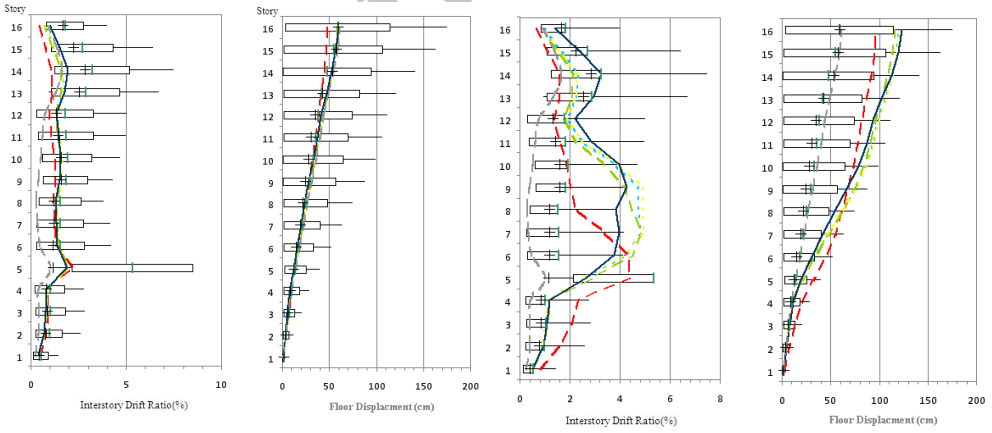
- نتایج حاصل از تحلیل مدل دوازده طبقه

www.SID.ir

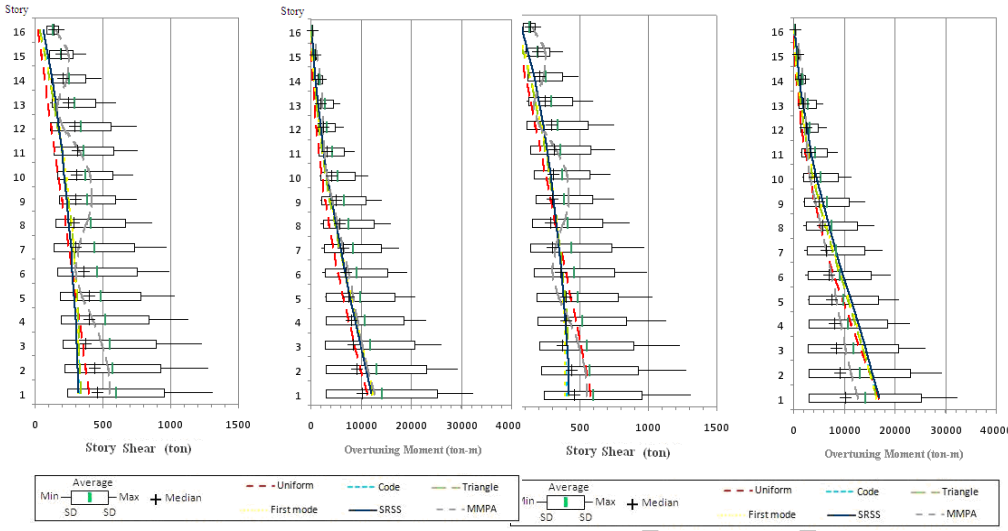


شکل(3) : نتایج حاصل از تحلیل مدل دوازده طبقه براساس روش‌های ضرائب FEMA-356 و طیف ظرفیت آیین‌نامه ATC-40

- نتایج حاصل از تحلیل مدل شانزده طبقه



www.SID.ir



شکل(4) : نتایج حاصل از تحلیل مدل شانزده طبقه براساس روش‌های ضرائب FEMA-356 و طیف ظرفیت آیین‌نامه ATC-40

- **تفسیر نتیجهٔ بدست آمده در رابطه با میزان جابه‌جایی کلی طبقات**

1. در ساختمان 4 طبقه روش FEMA-356 تخمین مناسبی از جابجائی کلی ارائه می‌دهد و دارای درصد خطای 5٪ تا 11٪ هستند که بیان‌گر قابل قبول بودن نتایج است. این در حالی است که روش ATC-40 تا حدودی نشان از دست بالا بودن نتایج دارد.

2. در ساختمان‌های 8 و 12 طبقه نیز روش FEMA-356 تخمین بهتری را نسبت به روش ATC-40 ارائه می‌دهد.

3. در ساختمان 16 طبقه روش ATC-40 با درصد خطای تخمین مناسبی از میزان تغییرمکان هدف ارائه داده‌اند. این در حالی است که روش FEMA-356 نتایج دست بالایی را ارائه داده‌اند.

4. روش بارافزون مدال اصلاح شده (MMPA) در ساختمان 16 طبقه و تا حدودی 12 طبقه نتایج قابل قبولی را ارائه داده‌اند. درکل با بررسی‌های به عمل آمده می‌توان به این نتیجه رسید که روش MMPA نسبت به الگوهای بار موجود در روش بارافزون تک مودی نتایج بهتری را ارائه داده‌اند. این مطلب در رابطه با الگوهای بارافزون به روش ATC-40 برای ساختمان 16 طبقه و الگوهای بارافزون به روش FEMA 356 برای ساختمان 4 طبقه استثناء است.

- **تفسیر نتیجهٔ بدست آمده در رابطه با میزان جابه‌جایی نسبی طبقات**

1. در ساختمان 4 طبقه روش FEMA 356 تخمین مناسبی از جابجائی نسبی طبقات ارائه می‌دهدکه بیان‌گر قابل قبول بودن نتایج است. این درحالی است که روش ATC-40 دارای درصد خطای بالاتری می‌باشد.

2. در ساختمان 16 طبقه روش ATC-40 تخمین بهتری را نسبت به روش FEMA-356 ارائه می‌دهد.

Archive of SID
www.SID.ir

3. روش بارافزون مدال اصلاح شده (MMPA) در ساختمان 12 و 8 طبقه نتایج نسبتا قابل قبولی را نسبت به دو روش دیگر ارائه داده‌اند.

4. الگوهای توزیع بار در روش بارافزون تک مودی دارای جواب‌های نزدیک به هم بوده و نمی‌توان فرق چندانی را بین آنها قائل شد.

- **تفسیر نتیجهٔ بدست آمده در رابطه با میزان برش طبقات**

1. در تمامی ساختمان‌ها روش FEMA 356 تخمین مناسبی از برش طبقات ارائه داده‌اندکه بیان‌گر قابل قبول بودن نتایج است. این در حالی است که روش ATC-40 دارای درصد خطای بالاتری می‌باشد.

2. روش بارافزون مدال اصلاح شده (MMPA) در ساختمان‌های 4، 12 و 16 طبقه نتایج قابل قبولی را ارائه داده‌ند. این در حالی است که در ساختمان 8 طبقه تخمین نامناسبی از تغییرمکان هدف ارائه داده است. درکل با بررسی‌های به عمل آمده می‌توان به این نتیجه رسید که روش MMPA برای ساختمان‌های 16 طبقه نسبت به تمامی الگوهای توزیع بار در روش‌های بارافزون تک مدی و برای ساختمان‌های 4 و 12 طبقه نسبت به الگوهای توزیع بار انجام شده با روش ATC-40 تخمین‌های بهتری را نشان داده است.

3. الگوهای توزیع بار در روش بارافزون تک مودی دارای جواب‌های نزدیک به هم بوده و نمی‌توان فرق چندانی را بین آنها قائل شد.

- **تفسیر نتیجهٔ بدست آمده در رابطه با میزان لنگر واژگونی طبقات**

1. در تمامی ساختمان‌ها روش FEMA 356 تخمین مناسبی از لنگر واژگونی ارائه داده‌اند که بیان‌گر قابل قبول بودن نتایج است. این درحالی است که روش‌های ATC-40 دارای درصد خطای بالاتری می‌باشند.

2. روش بارافزون مدال اصلاح شده (MMPA) در ساختمان‌های 4، 8 و 16 طبقه نتایج قابل قبولی را ارائه داده‌اند. این در حالی است که در ساختمان 12 طبقه تخمین نامناسبی از تغییرمکان هدف ارائه داده است. درکل با بررسی‌های به عمل آمده می‌توان به این نتیجه رسید که روش MMPA برای ساختمان‌های 16 طبقه نسبت به تمامی الگوهای توزیع بار در روش‌های بارافزون تک مدی و برای ساختمان‌های 4 طبقه نسبت به الگوهای توزیع بار انجام شده با روش‌های ATC-40 تخمین‌های بهتری را نشان داده است.

3. الگوهای توزیع بار در روش بارافزون تک مودی دارای جواب‌های نزدیک به هم بوده و نمی‌توان فرق چندانی را بین آنها قائل شد.

8. تقدیر و تشکر

در انتها جا دارد که از زحمات بی دریغ استاد ارجمند جناب آقای دکتر احمد نیک‌نام که در تهیه و به ثمر رسیدن این تحقیق نقش به سزایی را داشتند کمال تقدیر و تشکر را بنمایم.

9. مراجع

Archive of SID
www.SID.ir

[1] Applied Technology Council (1996), "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building", Report ATC-40. Redwood City.

[2] Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2000, Prestandard and Commentary for the Rehabilitation of Building, FEMA-356.

[3] FEMA 440, 2005, "Draft Camera-Ready for the Improvement of nonlinear static seismic Analysis procedures", prepared by the Applied Technology Council (ATC-55 project) for the Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

[4] Chopra AK, Goel RK.A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings.Earthquake and Structural Dynamics 2002, 31:561-582.

[5] Chopra AK, Goel RK, C Hintamapakdee C. Evaluation of a modified MPA [23] procedure assuming higher modes as elastic to estimate seismic demands Earthquake Spectra 2004. To appear

[6] Chopra AK, Goel RK. Extention of modal pushover analysis to Compute member forces. Earthquake Spectra 2004, submitted for publication

[7] Bracci, J. M. Kunnath. S. K. and reinhorn. A. M. [1997].Seismic performance and retrofit evaluation of reinforced concrete structure. Journal of Structural Engineering, 123(1), PP. 3-10

[8] Gupta B, Kunnath SK. Adaptive Spectra-based pushover procedure for Seismic evaluation of structures. Earthquake Spectra 2000, 16:367-392...

[9] Naeim, F.The Seismic Design Handbook, Mc Graw Hill, 2001

[10] SAP2000 Nonlinear, Analysis Reference Manual, Version 14, August 2008, Computers & Structures, INC. Berkeley, California. Earthquake Spectra, Vol. 5, No. 3, August, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA.

[11]مبحث ششم از مقررات ملی مدل، بارهای وارد بر مدل، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی مدل، 1381

[12]آیین‌نامه طراحی مدل‌ها در برابر زلزله- استاندارد 2800 ویرایش سوم (1384) ، کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی مدل‌ها در برابر زلزله، مرکز تحقیقات مدل و مسکن.

[13] ASCE/SEI 7-05.American Society of Civil Engineering، Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.

[14] AISC (2005), Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-05, March 9, American Institute of Steel Construction, Inc. Chicago, IL.

[15]دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، نشریه‌ی شماره 360، معاونت امور فنی، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، 1385.

Archive of SID

www.SID.ir